



# Avaliação da viabilidade técnica e económica da valorização de cepos, ramos e bicadas de eucalipto

Susana Helena e  
Catarino Barradas de Moraes

Orientação: Prof. Dr. Cláudio Monteiro

Setembro, 2012

Tese de Mestrado em Economia e  
Gestão do Ambiente



Avaliação da viabilidade técnica e económica da valorização de  
cepos, ramos e bicadas de eucalipto

---

Mestrado em Economia e Gestão do Ambiente

Susana Helena e Catarino Barradas de Morais

Orientada por:

Prof. Dr. Cláudio Monteiro

**2012**

## Nota Biográfica

<ul style="list-style-type: none"> <li>Licenciatura em Eng.<sup>a</sup> Florestal, pela UTAD, em Vila Real.</li> <li>Relatório Final "Exploração Florestal em Diferentes Tipologias de Unidades de Gestão"</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Curso de Desenho Assistido por Computador em Imagination Engineer.</li> <li>Curso de Sistemas de Posicionamento Global (GPS);</li> <li>Curso de <i>Design do Espaço Florestal</i>, na UTAD.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Curso de ARCVIEW GIS Nível 1, na Environmental Systems Research Institute, Inc, ESRI PORTUGAL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Participação em vários cursos, nomeadamente: <i>Ambiente: Da Responsabilidade Social à Fraude</i>, <i>Curso de GeoMedia Professional</i>, <i>Curso Formação Profissional Auditoria Ambiental</i></li> </ul>
1995 - 2001	1999	2002	2002-2009
			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Curso de Higiene e Segurança no Trabalho; e Curso de Formação de Formadores; e Curso de Preparação de uma empresa para a Certificação da Qualidade, na NFRSANT</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prestação de Serviços como Técnica Florestal, na empresa ALIANÇA FLORES - ALSA, GRUPO PORTUCEL SOPORCEL - DIV SÃO VALE DO TEJO.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Introdução à Certificação Florestal FSC, da cadeia de responsabilidade FSC e da FSC de Madeira Controlada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Participação em estudo/organização do Sector Florestal Norueguês, na Assoc. de Prod. Florestais NORGESETERVEIEN, DE LILLEHAMMER, NORUEGA</li> </ul>
2002	2000 - 2003	2002	2003
			
<ul style="list-style-type: none"> <li>IBERSILVA SERVICIOS (PORTUGAL - Grupo ENCE) Resp. Dep. Comercial/Produção. Coordenação do projeto e montagem da unidade industrial de descasque e trituração de madeira e Resp. Dep. de Projectos e</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Formación Teórica de Auditores Forestales, PFC España, na Universidad de Vigo, Espanha</li> <li>Curso de <i> hidrologia de Cuencas Forestales: Retos Científicos y de Gestión</i>, na Univers. SALAMANCA.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Curso <i>Europeu de Primeiros Socorros</i> - Escola de Socorrismo da Cruz Vermelha Portuguesa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cursos de <i>Silvicultura do Eucalipto - Condução de Povoamento para melhoria da Produtividade e Forest Landscape Design Restructuring Plantation Forests; Requisitos da Certificação Florestal e da Cadeia de Responsabilidade.</i></li> </ul>
2004 - 2006	2005 / 2011	2012	2011
			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ação de Formação em <i>Avaliação de Propriedades Rústicas</i>.</li> <li>Ação de Formação <i>Plano de Gestão Florestal - Módulo Legal</i>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conferência: <i>Gestão e Conservação de Habitats e Flora Associada</i> - ERENA.</li> <li>Workshop de <i>regime de arborização e Rearborização, diferentes perspectivas</i>, na ICNF, I.P.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>GRUPO PORTUCEL SÓPORCEL como Técnica do Gabinete de Projectos e Técnica da Produção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>A frequentar o Mestrado em Economia e Gestão do Ambiente, na Faculdade de Economia do Porto (FEP), no Porto.</li> </ul>
2009	2009 / 2012	2006 - ...	2009 - 2011
			

## Resumo

Avaliação técnica e económica da utilização, em centrais termoelétricas, da biomassa florestal residual de eucalipto (cepos, ramos e bicadas), utilizando classes de distâncias de múltiplos de 10km em relação à localização das centrais de Cacia e Setúbal do Grupo Portucel. Desta forma foi efetuada a avaliação do valor energético da biomassa, a quantificação dos recursos disponíveis e a valorização de externalidades, foi ainda realizada a avaliação dos custos associados às operações de processamento e transporte, considerando a sazonalidade associada ao mercado, para as propriedades geridas pelo Grupo Portucel.

Especificamente para a análise financeira utilizou-se o modelo LCOE (*Levelised Cost of Electricity*), considerando os custos anuais por tonelada versus a energia produzida, para os diferentes tipos de biomassa florestal residual e classes de distâncias a cada Central, expresso em €/MWh. Para a BFR derivada de cepos de eucalipto foi contabilizado o investimento num novo crivo, que vem resolver o problema da elevada quantidade de inertes desta biomassa.

Comparando os resultados obtidos, verificou-se que para a central de Cacia o LCOE ótimo dos cepos é de 87,072€/MWh, para uma distância até 90km da central, enquanto que para Setúbal o LCOE ótimo dos cepos é inferior, apresentando um valor de 86,698€/MWh para uma distância até 110km.

**Palavras-chave:** eucalipto, biomassa florestal residual, energia, LCOE (*Levelised Cost of Electricity*)

## Abstract

Technical and economic assessment about the use, in power plants, of eucalyptus's biomass forest residues (stumps and branches), using classes of distances with multiples of 10km, from the location of the Portucel's power plants of Cacia and Setúbal. It was analyzed the energy value of biomass, the quantification of available resources and recovery of externalities. It was also studied the evaluation of the costs associated with processing and transport operations, considering the seasonality associated with the market, for the Portucel's properties.

Specifically for the financial analysis, it was used the model LCOE (Levelised Cost of Electricity), considering the annual costs per ton versus the energy produced, for different types of biomass forest residues and distances to each Central, expressed in €/MWh. For BFR derived from eucalyptus stumps, it was analyzed the investment in a new bolter, which solves the problem of high amount of inert in this biomass.

Comparing the results, it was found that for the Cacia power plant, the optimum LCOE for the stumps is 87.072€/MWh, for a distance of 90km from the plant, while the Setúbal optimum LCOE, also for the stumps is lower, with a value 86.698€/MWh for a distance up to 110km.

**Keywords:** eucalyptus, biomass forest residues, energy, LCOE (Levelised Cost of Electricity)

## Agradecimentos

A elaboração desta Dissertação só foi possível graças ao apoio, carinho e amizade dispensados pelas seguintes pessoas, às quais ficarei para sempre grata.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer Prof. Dr. Cláudio Monteiro, pela disponibilidade para orientar a dissertação, para esclarecer dúvidas, pelo interesse demonstrado pelo trabalho e pelo muito que aprendi.


À minha família, em especial à minha Mãe, o meu profundo agradecimento pelo carinho, apoio e incentivo no decorrer do mestrado.

À Sofia Mota, pelo incentivo, disponibilidade e amizade desde o dia em que iniciei o mestrado.

Aos colegas do Grupo Portucel que contribuíram para a realização da tese, em especial à Eng<sup>a</sup>. Teresa Silva e ao Eng<sup>o</sup>. Fernando Martins.

O meu sincero obrigado a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho e cujo nome nem necessito mencionar.

E ao Nuno, por ter conseguido ultrapassar as minhas ausências e por ter ajudado a que o dia-a-dia do mestrado fosse possível.



"The environment and the economy are really both two sides of the same coin. You cannot sustain the economy if you don't take care of the environment because we know that the resources that we use whether it is oil, energy, land ... all of these are the basis in which development happens. And development is what we say generates a good economy and puts money in our pockets. If we cannot sustain the environment, we can't not sustain ourselves."

Wangari Maathai (1 Abr. 1940 – 25 Set. 2011): Prémio Nobel da Paz em 2004

## Índice

<b>NOTA BIOGRÁFICA</b>	<b>I</b>
<b>RESUMO</b>	<b>II</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMENTOS</b>	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b>	<b>IX</b>
<b>ACRÓNIMOS</b>	<b>XII</b>
<b>ACRÓNIMOS</b>	<b>XII</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	2
1.1.1 POLÍTICAS ENERGÉTICAS PARA BIOMASSA	3
1.1.2 BIOMASSA DE EUCALIPTO	12
1.2 MOTIVAÇÃO	15
1.2.1 NECESSIDADE DA EMPRESA EM DAR SOLUÇÃO AOS SOBRANTES	16
1.2.2 POTENCIAL VALOR DO RESÍDUO PARA FINS ENERGÉTICOS	18
1.3 OBJETIVOS	19
1.4 DADOS UTILIZADOS	20
1.5 ESTRUTURA	21
<b>2. BIOMASSA</b>	<b>22</b>
2.1 ASPETOS GENÉRICOS DE APROVEITAMENTO DE BIOMASSA	24
2.1.1 PONTOS FORTES	25
2.1.2 PONTOS FRACOS	27
2.2 INCENTIVOS À PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE A PARTIR DA BIOMASSA	28
2.3 RECOLHA DE BIOMASSA	31



2.3.1	EQUIPAMENTO	32
2.3.2	LOGÍSTICA	36
2.4	PROCESSOS DO APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS	39
2.4.1	COMBUSTÃO	40
2.4.2	GASEIFICAÇÃO	41
<b>3.</b>	<b>QUANTIFICAÇÃO ENERGÉTICA DOS SOBRANTES DE EUCALIPTO</b>	<b>44</b>
3.1	QUANTIFICAÇÃO DOS RECURSOS DISPONÍVEIS	45
3.2	SAZONALIDADE DOS MATERIAIS DISPONÍVEIS	53
3.3	AVALIAÇÃO DE CUSTOS	58
3.4	AQUISIÇÃO DE BIOMASSA	61
3.5	AVALIAÇÃO DO VALOR ENERGÉTICO DA BIOMASSA	62
<b>4.</b>	<b>ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÓMICA DO APROVEITAMENTO DE BIOMASSA</b>	<b>66</b>
4.1	ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DO APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS	68
4.2	ANÁLISE E SIMULAÇÃO DE CUSTOS	69
4.3	ANÁLISE FINANCEIRA PARA MODELO DE NEGÓCIOS DOS RESÍDUOS DE EUCALIPTO	72
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>77</b>
5.1	TEMAS DE DESENVOLVIMENTO FUTURO	78
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>80</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>86</b>
1.	MAPA DE USO/OCUPAÇÃO DO SOLO	87
2.	<i>EUCALYPTUS GLOBULUS</i> – CULTIVATED FORESTS WORLDWIDE	88
3.	PLANTAÇÕES DE EUCALIPTO EM PORTUGAL	89
4.	ÁREAS DOS POVOAMENTOS DE EUCALIPTO, SEGUNDO A COMPOSIÇÃO ESPECÍFICA	90
5.	BIOMASSA TOTAL DE EUCALIPTO SEGUNDO A COMPOSIÇÃO ESPECÍFICA DOS POVOAMENTOS	91
6.	CARACTERIZAÇÃO DA ESPÉCIE EUCALIPTO ( <i>EUCALYPTUS</i> SPP.)	92
7.	QUADRO DE CONSUMO NACIONAL DE BIOMASSA FLORESTAL	93

## Índice de Figuras

<i>Fig. 1 – Esquema das políticas energéticas para a biomassa.....</i>	<i>3</i>
<i>Fig. 2 – Utilização da biomassa como fonte de energia no mundo (Fonte: Inforse, 2012) .....</i>	<i>4</i>
<i>Fig. 3 – Necessidade mundial de energia primária por combustível no Cenário de Novas Política (Fonte: IEA, 2011b).....</i>	<i>5</i>
<i>Fig. 4 – Roteiro Nacional das Energias Renováveis – Aplicação da Diretiva 2009/28/CE.....</i>	<i>10</i>
<i>Fig. 5 – Evolução do Consumo de Energia Primária em Portugal (Mtep/ano) (Fonte: adaptado ERSE, 2012).....</i>	<i>11</i>
<i>Fig. 6 – Energia anual entregue à rede por tecnologia (GWh) (Fonte: adaptado ERSE, 2012). 12</i>	
<i>Fig. 7 – Distribuição da biomassa e madeira numa árvore (Fonte: adaptado de Santos, 2008) 13</i>	
<i>Fig. 10 - Esquema representativo do ciclo produtivo do eucalipto, onde P – plantação, C – corte e R – rebentação.....</i>	<i>17</i>
<i>Fig. 13 – Produção de energia elétrica a partir de energias renováveis (GWh/ano), evidenciando a quota-parte do grupo Portucel, na produção de energia a partir de biomassa (Fonte: Carvalho, 2010b).....</i>	<i>19</i>
<i>Fig. 14 – Produção bruta de energia elétrica ano de referência 2008 do Grupo Portucel .....</i>	<i>23</i>
<i>Fig. 15 – Esquema representativo dos pontos forte e fracos da recolha de biomassa.....</i>	<i>25</i>
<i>Fig. 16 – Alteração das tarifas para energia elétrica antes e depois do DL nº. 33A/2005, (Fonte: CBE, 2009).....</i>	<i>31</i>
<i>Fig. 17 – Custo Médio Anual por Tecnologia (€/MWh), (Fonte: ERSE, 2012) .....</i>	<i>31</i>
<i>Fig. 18 – Esquema representativo do volume ocupado pelos diferentes materiais derivados da floresta (Fonte: adaptado de Silva, 2009).....</i>	<i>35</i>
<i>Fig. 19 – Métodos observados na exploração de biomassa.....</i>	<i>36</i>
<i>Fig. 20 – Sistema de recolha de biomassa florestal baseado no estilhador na unidade transformadora (Fonte: Hakkila, 2004).....</i>	<i>37</i>
<i>Fig. 21 – Sistema de recolha de biomassa florestal (raízes e cepos) baseado no estilhador na unidade transformadora (Fonte: Acila, 2004).....</i>	<i>37</i>
<i>Fig. 22 – Sistema de recolha de biomassa florestal baseado no estilhaçamento efetuado num ponto de recolha. Desbastes de árvores de pequeno porte, carregamento num camião, estilhador e transporte da estilha (Fonte: Hakkila, 2004) .....</i>	<i>38</i>

<i>Fig. 23 – Principais formas de conversão de biomassa para energia secundária (Fonte: adaptado de Turkenburg, 2000 e Faaij, 2006)</i> .....	39
<i>Fig. 24 - Central termoelétrica a biomassa florestal de Cacia, (Fonte: Carvalho, 2012)</i> .....	45
<i>Fig. 25 – Localização das áreas de eucalipto por ano e por classe distância às centrais de Cacia e Setúbal (Fonte, Grupo Portucel, 2012)</i> .....	50
<i>Fig. 26 – Produção mensal de energia elétrica a partir de FER (GWh) Portugal Continental (Fonte: DGE, 2012)</i> .....	53
<i>Fig. 27 – Produção de energia elétrica a partir de FER - Ano 2011 (GWh) Portugal Continental (Fonte: DGE, 2012)</i> .....	54
<i>Fig. 28 – A variação mensal da densidade de energia de estilha de floresta em 2001 - Médias de três centrais, (Fonte: Hakkila, 2004)</i> .....	54
<i>Fig. 29 – Comportamento do poder calorífico inferior relativamente à humidade (Fonte: Cortez, et al., 2008)</i> .....	55
<i>Fig. 32 – Relação entre potência gerada e consumo de biomassa (Fonte: Sousa, 2009)</i> .....	64
<i>Fig. 33 – Processo de aproveitamento de cepos de eucalipto</i> .....	67
<i>Fig. 34 – Processo de aproveitamento de ramos e bicadas de eucalipto</i> .....	68
<i>Fig. 37 – Relação entre o preço estimado para o transporte e a quantidade acumulada de BFR de cepos, ramos e bicadas disponível por ano distribuídas por classe distância à central de Cacia</i> .....	70
<i>Fig. 38 – Relação entre o preço estimado para o transporte e a quantidade acumulada de BFR de cepos, ramos e bicadas disponível por ano distribuídas por classe distância à central de Setúbal</i> .....	71
<i>Fig. 39 – Representação dos LCOE da central de Cacia</i> .....	73
<i>Fig. 40 – Representação dos LCOE da central de Setúbal</i> .....	74
<i>Fig. 41 – Mapa representativo das classes de distâncias às Centrais</i> .....	75

## Índice de Tabelas

<i>Tabela 1 – Tarifas de aquisição de energia elétrica a partir de biomassa florestal para alguns países da EU (DL n°33-A/2007; (Fonte: adaptado de CCE, 2005a)</i> .....	30
<i>Tabela 2 – Evolução histórica da energia elétrica produzida através de renováveis (GWh) em Portugal Continental (Fonte: DGEG, 2012b)</i> .....	44

<i>Tabela 3 – Evolução histórica da potência total instalada em renováveis (MW) em Portugal Continental (Fonte: DGEG, 2012b).....</i>	<i>44</i>
<i>Tabela 4 – Capacidade instalada do Grupo Portucel por centro fabril, (Fonte: Carvalho, 2012)45</i>	<i>45</i>
<i>Tabela 5 – Estudos de potencial de biomassa florestal em Portugal (Mton/ano).....</i>	<i>47</i>
<i>Tabela 6 – Estimativa da quantidade de BFR resultante de cepos disponível por ano e por classe distância à central de Cacia.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabela 7 – Estimativa da quantidade de BFR resultante de ramos e bicadas disponível por ano e por classe distância à central de Cacia.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabela 8 – Estimativa da quantidade de BFR resultante de cepos disponível por ano e por classe distância à central de Setúbal.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabela 9 – Estimativa da quantidade de BFR resultante de ramos e bicadas disponível por ano e por classe distância à central de Setúbal.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabela 10 – Capacidade de armazenamento nos centros fabris (ton).....</i>	<i>56</i>
<i>Tabela 11 – Estimativa da quantidade de biomassa consumida por central (ton) .....</i>	<i>57</i>
<i>Tabela 12 – Custos das operações (Fonte: adaptado Rodrigues, 2009).....</i>	<i>59</i>
<i>Tabela 13 – Custos indicativos das operações (Fonte: adaptado de Carvalho, 2010).....</i>	<i>60</i>
<i>Tabela 14 – Cotação por classe de km dos preços de transporte (Fonte: adaptado de grupo Portucel Soporcel, 2010) .....</i>	<i>60</i>
<i>Tabela 15 – Preços praticados na aquisição de biomassa a partir de 1 de Abril de 2012, (Fonte: adaptado Grupo Portucel) .....</i>	<i>62</i>
<i>Tabela 16 – Densidade aparente da BFR proveniente da exploração em condições de armazenamento e transporte (Fonte: CBE, 2008b).....</i>	<i>63</i>
<i>Tabela 17 – Comparação do poder calorífico da biomassa com alguns combustíveis (Fonte: adaptado Rodrigues, 2009).....</i>	<i>65</i>
<i>Tabela 18 – Resultados da determinação do poder calorífico (variância e o intervalo de confiança) (Fonte: adaptado CBE, 2008b).....</i>	<i>65</i>
<i>Tabela 19 – Poderes caloríficos superiores e % de inertes por tipo de biomassa (Fonte: adaptado Silva, 2009) .....</i>	<i>65</i>
<i>Tabela 20 – Estimativa da quantidade de BFR resultante dos cepos, ramos e bicadas disponível por ano e por classe distância à central de Cacia .....</i>	<i>70</i>

<i>Tabela 21 – Estimativa da quantidade de BFR resultante dos cepos, ramos e bicadas disponível por ano e por classe distância à central de Setúbal.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabela 22 – LCOE para os diferentes tipos de BFR para a central de Cacia.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabela 23 – LCOE para os diferentes tipos de BFR para a central de Setúbal.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabela 24 – Margem para os diferentes LCOE para a central de Cacia.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabela 25 – Margem para os diferentes LCOE para a central de Setúbal.....</i>	<i>76</i>

## Acrónimos

A&A – Aquecimento e Arrefecimento  
 AFN – Autoridade Florestal Nacional  
 BEKP – *Bleached Eucalyptus Kraft Pulp*, Pasta branqueada de eucalipto  
 BFR – Biomassa florestal residual  
 CBE – Centro da Biomassa para Energia  
 CE – Comissão Europeia  
 DL – Decreto-Lei  
 ENDS – Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável  
 ENE2010 – Estratégia Nacional para a Energia  
*E. globulus* – *Eucalyptus globulus*  
 FER, (FRE), (E-FRE) – Fontes de energia renováveis  
 ELO – *European Landowners Organization*  
 EUBIA – Associação Europeia da Indústria da Biomassa  
 GEE – Gases com Efeito de Estufa  
 H – Humidade  
 Ha – hectare  
 IEA (AIE) – Agência Internacional de Energia  
 IFN5 – 5º Inventário Florestal Nacional (2005-2006)  
 INETI – Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação  
 ISA – Instituto Superior de Agronomia  
 IST – Instituto Superior Técnico  
 LCOE – *Levelized Cost of Energy*  
 LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia  
 Mt – Milhões de toneladas  
 Mtep – Milhões de toneladas equivalentes de petróleo  
 MWh – Mega watt hora  
 N – Azoto  
 NOx – Óxidos de azoto  
 NUTS – Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos  
 O – Oxigénio  
 OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico  
 PC – poder calorífico  
 PCI – Poder Calorífico Inferior  
 PCS – Poder Calorífico Superior  
 PIB – Produto Interno Bruto  
 RCM – Resolução de Conselho de Ministros  
 RSU – Resíduos sólidos urbanos UE - União Europeia  
 Ton – Toneladas  
 UEZ – Unidade de Emissões Zero  
 UTAD – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro  
 VAN – Valor Acrescentado Nacional

## 1. INTRODUÇÃO

A madeira foi usada desde a pré-história como um material de grande importância em todo o mundo. Fundamental como combustível regenerativo e como fonte de energia.

No século XIX, com o início da revolução industrial, o consumo de carvão tornou-se o principal suporte energético do processo de industrialização, devido ao uso da máquina a vapor. Assim, no final do século, a quantidade global de energia consumida a partir da madeira, tornou-se inferior à proveniente dos combustíveis fósseis (carvão e petróleo).

A dificuldade de extração dos combustíveis fósseis assim como a sua vulnerabilidade por serem um recurso não renovável, reflete-se no aumento dos custos.

O desafio que se impõe relativamente a satisfazer as necessidades de energia para o desenvolvimento, no século XXI, é difícil mas da máxima importância, não podendo ser adiado nem ignorado já que, 38% da área do território nacional é coberto por floresta e Portugal tem demonstrado um grande interesse neste domínio (Anexo 1).

O principal produto económico da floresta é sem dúvida a madeira, estimando-se que, contribua com cerca de 1% do PIB mundial o que compreende 3% do comércio internacional de mercadorias. Muito embora o crescente interesse nos produtos florestais não madeireiros e serviços ambientais das florestas seja um facto.

O peso das indústrias de base florestal na nossa economia é de tal forma elevado, que não o podemos comparar com nenhum outro país da União Europeia. Os cerca de 10% do total das exportações, representam um elevadíssimo coeficiente de Valor Acrescentado Nacional. Os cerca de 184 mil de postos de trabalho não suscetíveis de deslocalização, na área do pinho e do eucalipto, são ainda responsáveis por 7% da produção de energia elétrica em Portugal. As indústrias de base florestal, pelo seu potencial económico, não devem ser colocadas em competição desigual, face ao abastecimento da principal matéria-prima.

Depois das duas crises dos anos 70, vive-se o que se pode admitir como a terceira crise petrolífera, com o barril de crude a atingir valores históricos, fazendo com que o cenário energético nacional se caracterize, por uma grande dependência externa de fontes primárias de origem fóssil (petróleo, gás natural e carvão) e uma procura energética com taxas de crescimento superiores às do crescimento do PIB.

Embora nos anos 70 as energias renováveis tenham ganho um novo fulgor com a crise mundial, atualmente, o interesse é ainda mais significativo. Os sistemas de cogeração que

utilizam a biomassa florestal, são assim frequentemente utilizados pelas indústrias ligadas aos ditos produtos podendo usar um resíduo que é gerado no próprio processo industrial, tornando-o num recurso.

No presente trabalho, a biomassa florestal residual (BFR) refere-se a todos os sobrantes da exploração florestal do eucalipto passíveis de serem utilizados e que não sejam rolaria. Cabem nesta definição os cepos, os ramos e as bicadas, embora nem todas estas frações sejam ou devam ser utilizadas, dependendo da sua localização.

Para atingir os objetivos deste trabalho, recorreu-se ao modelo *LCOE (Levelised Cost of Electricity)*, que permite identificar o preço constante por unidade de energia que faz com que o investimento atinja o equilíbrio.

## 1.1 Contextualização

A indústria da pasta de papel foi pioneira no aproveitamento da biomassa florestal em Portugal. Percebeu que a utilização dos resíduos e sobrantes que produzia, em particular o licor negro, a casca, os ramos, as bicadas e mesmo os cepos dos eucaliptos, poderiam servir para produzir calor para os processos industriais. A produção de calor que não é utilizada para esses processos é canalizada para a produção de energia elétrica, quer para autoconsumo, quer para injetar na rede elétrica de serviço público, num processo designado por cogeração (Grupo Portucel, 2012b).

O Grupo Portucel é transversal à economia portuguesa, interagindo com cerca de 400.000 proprietários florestais, 84% dos seus *inputs* são produzidos em Portugal e adquiridos a mais de 5.500 empresas localizadas no nosso território, é ainda responsável por 9% do total da carga marítima contentorizada destinada à exportação e movimentada nos portos nacionais. Representa 3% das exportações portuguesas de bens (Grupo Portucel, 2012b).

A produção total de energia elétrica do Grupo Portucel correspondeu a quase 4% da produção total nacional. O Grupo consolidou-se como o maior produtor nacional de energia, a partir de biomassa, sendo responsável por cerca de 52% da energia elétrica produzida a partir desse recurso. A produção de eletricidade a partir de centrais a biomassa em 2011 registou um aumento de 11,1% face ao ano anterior, Este segmento registou um crescimento nas suas vendas de mais de 20% face a 2010 (Grupo Portucel, 2012b).

Considerando o panorama atual do país, e com o objetivo de facilitar os trabalhos subsequentes de remoção dos sobrantes, pretende-se com este trabalho avaliar os quantitativos potencialmente disponíveis e definir modelos de custos da biomassa para as Centrais de Cacia e Setúbal, partindo da caracterização da situação atual e fazendo a projeção para o futuro, do potencial de uso desta biomassa.



Assim será realizada a análise dos recursos disponíveis; a quantificação de fluxos de materiais associados ao processo; a análise da sazonalidade da receção de sobranes nos centros fabris, a avaliação do valor energético da biomassa, a valorização de externalidades e a avaliação de custos.

### 1.1.1 Políticas energéticas para biomassa

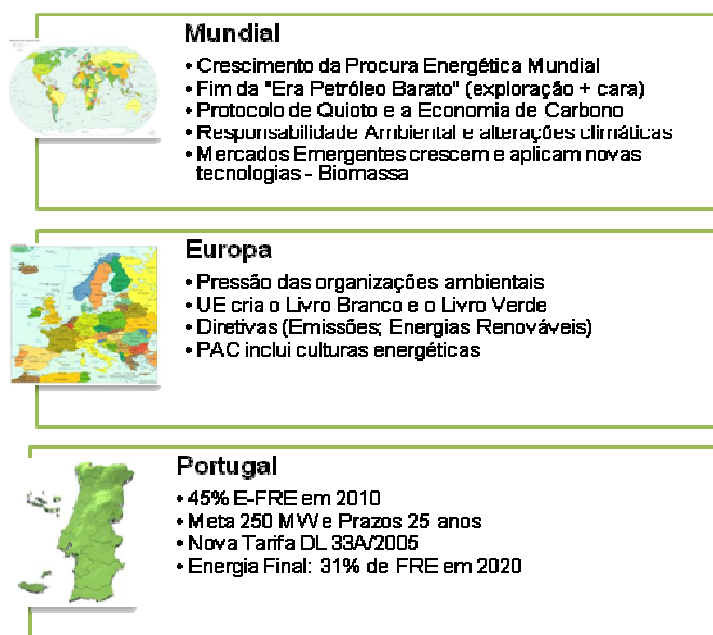


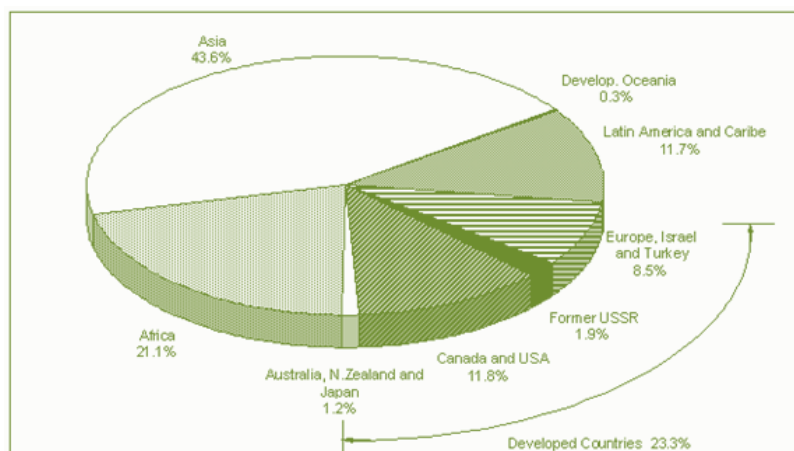
Fig. 1 – Esquema das políticas energéticas para a biomassa

#### Políticas adotadas a nível mundial

*Eucalyptus* spp. é a fonte de fibra mais importante para a produção de papel e celulose no sudoeste da Europa (Portugal e Espanha) e América do Sul (Brasil e Chile), onde este sector tem observado um crescimento rápido durante os últimos anos (Anexo 2). O total de área plantada no Brasil, Chile, Portugal e Espanha é de cerca de 5,7 milhões de hectares. No contexto Português, *Eucalyptus globulus* é a espécie dominante em termos de produção de celulose e papel, e o terceiro em termos de área florestal (cerca de 672,000 ha), representando quase 31% da área plantada em todo o mundo (Domingues, *et al.*, 2009).

Na atualidade, a biomassa pode ser considerada um dos recursos renováveis do futuro, equivalendo a 14% do consumo mundial de energia primária. Contudo nos países em desenvolvimento, que representam três quartos da população mundial a biomassa é a mais importante fonte de energia (Berndes, 2006 e Inforse, 2012). Com o aumento da população, as necessidades *per capita*, e o esgotamento dos combustíveis fósseis, a indispensabilidade de biomassa deve aumentar rapidamente nestes países. Em média, a biomassa produz 38% da energia primária nos países em desenvolvimento, chegando em alguns a 90%. É pois provável

que a biomassa se conserve uma importante fonte mundial nos países em desenvolvimento até ao próximo século (Inforse, 2012).

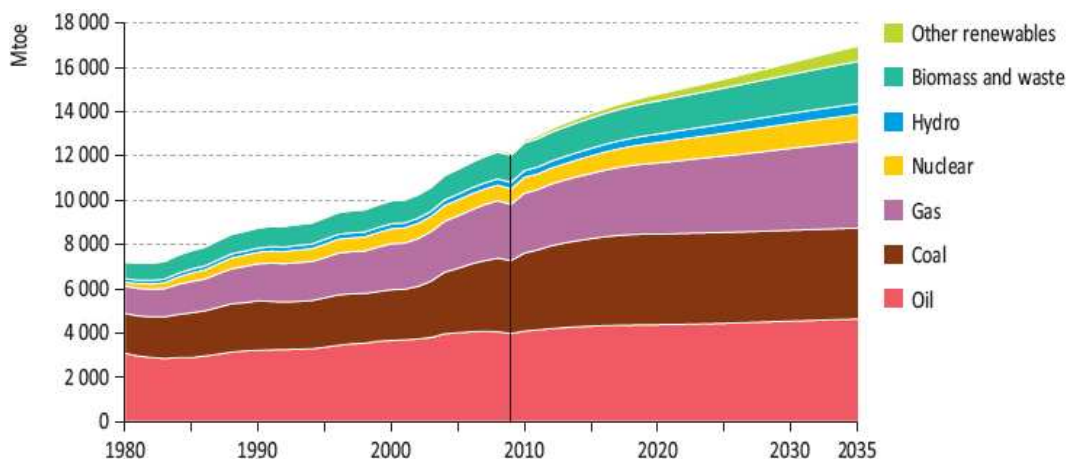


**Fig. 2 – Utilização da biomassa como fonte de energia no mundo (Fonte: Inforse, 2012)**

Mesmo nos países desenvolvidos, a biomassa está a ser utilizada de forma intensiva, como fonte de energia.

Segundo Gazzoni (2012), as energias renováveis têm o potencial técnico de responder a grande parte da procura de energia mundial, independente da origem da procura (eletricidade, aquecimento ou transporte). Esta situação fica a dever-se: à viabilidade económica, à sustentabilidade de cada fonte e à disponibilidade de recursos renováveis para geração de energia, que varia entre as diferentes regiões do mundo.

Segundo a Agencia Internacional de Energia (IEA, 2012b), a necessidade de eletricidade cresce de forma constante, dando continuidade à tendência a longo prazo. Em 2009 na sequência da recessão económica, a necessidade de eletricidade caiu 0,7%, a primeira queda desde que começaram os registos da IEA nos anos 1970, mas recuperou fortemente em 2010, com um crescimento de 6%.



**Fig. 3 – Necessidade mundial de energia primária por combustível no Cenário de Novas Política (Fonte: IEA, 2011b)**

Em 2010-2016, o programa da bioenergia da Agência Internacional de Energia (AIE) estabeleceu um novo Plano Estratégico, "para alcançar uma substancial contribuição da bioenergia<sup>1</sup> para as futuras necessidades globais, acelerando a produção e uso de tecnologias ambientalmente saudáveis, socialmente aceites e com custos-competitivos de bioenergia de forma sustentável, proporcionando assim maior segurança do aprovisionamento e redução das emissões de gases de efeito estufa do uso de energia". As áreas abrangidas incluem também a biomassa florestal oriunda da silvicultura convencional de espécies geridas em rotações curtas, resíduos de culturas agrícolas, oleaginosas, resíduos sólidos municipais e resíduos industriais. Este plano salienta a segurança do aprovisionamento de energia, a mitigação nas emissões de gases de efeito estufa (GEE) e a necessidade de desenvolver, de forma sustentável, os recursos não-alimentares – biomassa, novas e/ou melhoradas tecnologias em larga escala de bioenergia, estratégias para a política de energia, e apoio dos órgãos na implementação dos acordos estabelecidos pela AIE - Comité de Pesquisa em Energia e Tecnologia. (FAO, 2010).

Um potencial significativo de recursos ainda permanece por explorar na produção de energia a partir de fontes renováveis. Na OCDE, a participação da geração total de eletricidade proveniente de fontes renováveis prevê-se que aumente de 18% em 2009 para 33% em 2035. O que equivale a um aumento em média de 21% para 29% em países não-OCDE. Globalmente, a China em 2035 será previsivelmente o maior produtor de eletricidade a partir de fontes de energias renováveis. (IEA, 2011b)

### Situação Europeia

Segundo o Parlamento Europeu, é essencial, o aumento das energias renováveis, por razões de competitividade e ambientais. As vantagens apresentadas pela biomassa relativamente às

<sup>1</sup> Bioenergia ou energia da biomassa é um tipo de energia renovável que utiliza material orgânico formado num processo industrial, biológico ou mecânico, geralmente a partir de substâncias que compõem os seres vivos (plantas, seres humanos, animais, etc.) ou seus restos e/ou detritos.

fontes de energia convencionais são enormes, bem como, no que diz respeito a outras energias renováveis, em particular os custos baixos, a menor dependência das variações do clima, a promoção de estruturas económicas regionais e ainda, o ser uma fonte de rendimento alternativa para os agricultores.

A diretiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Abril de 2009 surge com a elaboração de documentos e planos de ação vinculativos e essenciais à concretização das metas estabelecidas, relativamente à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis, e também para o Pacote Energia Clima aumentar em 20% a eficiência energética, reduzir em 20% os gases de efeito estufa (GEE), atingir os 20% de energias renováveis no consumo energético global da UE até 2020 e alcançar os 10% em componentes de biocombustíveis nos combustíveis para veículos até 2020.

A política energética europeia tem avançado em três frentes distintas: na procura de competitividade, que leve ao crescimento económico e à criação de emprego; na segurança do abastecimento, reduzindo a dependência energética dos países; e na sustentabilidade, comprometendo-se com a redução de emissões de GEE. Estas três forças motrizes estão patentes tanto no Livro Branco para uma Estratégia Comunitária e um Plano de ação, com o objetivo de conseguir uma penetração de 12% das FER na UE, como na recente comunicação. Uma Política Energética para a Europa. Embora separados por dez anos, ambos propõem objetivos concretos e ambiciosos, ainda que realistas e imperativos (Netto, 2008).

Por outro lado, a preocupação crescente com as alterações climáticas dão um forte impulso para o estabelecimento de três importantes e ambiciosos objetivos, Pacote 20-20-20.

A diretiva europeia 2001/77/CE (2001) relativa à promoção de eletricidade através de energias renováveis no mercado interno, com o objetivo de promover o aumento da contribuição das fontes de energia renováveis na produção, e criar uma base para um futuro quadro comunitário neste setor, fixa os objetivos por país para fazer aumentar a parte de eletricidade de origem renovável de 14 a 22% entre 1997 e 2010 (Gomes, 2008). A meta individual para Portugal é de 39%. Os dados de 2004 indicam que o seu contributo para a produção de eletricidade na União Europeia (UE 15) e Portugal se situava em 14,7% e 24,4%, respetivamente (Netto, 2008).

Em 2007, reforçaram-se as ideias subjacentes ao objetivo estabelecido em 1997, embora as alterações climáticas tenham ganho um lugar de destaque. Por um lado, reconhece-se a necessidade de revitalizar o mercado energético europeu, criando oportunidades de produção de energia regionais e locais, e de diversificar as fontes de energia, (Netto, 2008) por outro lado, a preocupação crescente com as alterações climáticas dá um forte impulso para o estabelecimento de três importantes e ambiciosos objetivos, o Pacote 20-20-20.

A estratégia de desenvolvimento da UE a nível energético pretende fundamentalmente garantir o abastecimento; proteger o meio ambiente, diminuindo os impactes ambientais associados ao ciclo energético, e favorecer a competitividade industrial, associada a uma liberalização do setor energético. Para tal, a sua política energética tem como objetivos: cumprir os compromissos do Protocolo de Quioto, através da redução de 8% das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) no período de 2008-2012, em relação aos níveis de emissão de 1990; duplicar a taxa de penetração das energias renováveis, aumentando de 6 a 12% a produção interna de energia bruta em 2010, relativamente aos dados de 1995; e manter a segurança no abastecimento (Enes, *et al.*, 2007).

A União Europeia tem vindo a dar sinais aos investidores de que a aposta nas energias renováveis está incluída numa política coerente e de longo prazo. Ciente que a biomassa pode contribuir para aumentar a produção de energia primária, elaborou um plano de ação para a Biomassa onde acentua a importância da mesma no cumprimento das metas estabelecidas, assim como um conjunto de medidas com o objetivo de promover e desenvolver a produção de energia a partir desse recurso (CCE, 2005a).

Em matéria florestal, a União Europeia não tem política definida. A incidência na floresta faz-se unicamente através de outras políticas como a da matéria energética. Neste sentido, a *European Landowners Organization* (ELO) lançou, em Novembro 2006, o programa *EUROFORENET* ou «Rede Energética Florestal Europeia». Esta faz eco ao objetivo anunciado pela Comissão Europeia de atingir 12 % do consumo energético na Europa a partir de biomassa, nomeadamente a de origem florestal. Um dos objetivos desta ação é de identificar as boas práticas de mobilização das reservas florestais, provindas das florestas privadas e comunitárias, com vista a produzir localmente energia renovável (Gomes, 2008).

A legislação Europeia, Diretiva 28/2009/EC, obriga os Estados Membros a incluir nos seus Planos Nacionais de Energias Renováveis, medidas específicas para a promoção do uso de energia a partir de biomassa, especialmente para mobilização de novas biomassas tendo em consideração a sua disponibilidade, quer doméstica quer de importação e ainda medidas de incremento da disponibilidade considerando os outros utilizadores, setores baseados na agricultura e floresta (DNFF, 2010).

### Situação Ibérica

Na Península Ibérica, as principais questões têm-se centrado na disponibilidade de recursos suficientes para ir ao encontro dos objetivos nacionais e europeus sem prejudicar os demais setores económicos ligados à floresta. Estes possuem uma elevada importância socioeconómica sem provocar a degradação das florestas Ibéricas, para isso foi necessário promover a melhoria das práticas de gestão. Inferiu-se da informação recolhida que o consumo

energético na Península Ibérica, mesmo após a queda dos últimos anos, é superior à média europeia. Deste modo, é fundamental reformular as políticas energéticas de modo a que este diminua. No mesmo sentido, a dependência energética face ao exterior também tem vindo a decrescer, apoiada sobretudo na produção de energias renováveis, conforme definida nos roteiros nacionais no âmbito da Diretiva 2009/28/CE, o que necessariamente vai implicar um maior recurso à biomassa florestal para produção de energia. O desenvolvimento deste mercado é indissociável da floresta, o que implica a adoção de medidas de apoio à produção florestal com vista ao aumento da disponibilidade de biomassa florestal como forma de garantir a existência de matéria-prima para os demais setores de atividade que dependem da floresta.

De acordo com os autores Silva e Barreira (2011), o crescimento do mercado da biomassa florestal na Península Ibérica está relacionado com o facto de ser um dos maiores recursos endógenos disponíveis e pela alteração do valor da tarifa verde na biomassa. Em Portugal o aumento desta tarifa representa aproximadamente 38% face ao valor anterior. Este aumento tem como base o disposto na “Estratégia europeia para uma energia sustentável, competitiva e segura” (CCE, 2006) que remete, no caso da biomassa, para o Plano de Ação Biomassa (CCE, 2005a).

## Portugal

Em 2005 foi publicada a *Resolução do Conselho de Ministros nº 169/2005 de 24 de Outubro* (RCM nº169, 2005), a qual estabelece a *Estratégia Nacional para a Energia* e cujos principais objetivos são:

- Garantir a segurança do abastecimento de energia, através da diversificação dos recursos primários, dos serviços energéticos, da promoção da eficiência energética na cadeia da oferta e na procura de energia;
- Estimular e favorecer a concorrência, de forma a promover a defesa dos consumidores, bem como a competitividade e a eficiência das empresas, quer as do sector da energia quer as demais do tecido produtivo nacional;
- Garantir a adequação ambiental de todo o processo energético, reduzindo os impactes ambientais às escalas, local, regional e global, nomeadamente no que respeita à intensidade carbónica do Produto Interno Bruto (PIB) (Enes *et al.*, 2007; RCM nº169, 2005).

Um dos cinco eixos de atuação da *Estratégia Nacional para a Energia* (RCM nº169, 2005) assenta na forte promoção do desenvolvimento das energias renováveis nomeadamente através da fixação de novos objetivos de produção; da agilização dos procedimentos

administrativos; da transposição da Diretiva e introdução dos biocombustíveis; da valorização da biomassa florestal e do Programa “Água Quente solar”.

O Decreto-Lei n.º 33-A/2005, de 16 de Fevereiro estabeleceu uma tarifa favorável para a energia produzida em centrais de biomassa florestal (cerca de 109€/MWh atualizável anualmente). Esta tarifa é bastante superior à atribuída à energia produzida em centrais hídricas, eólicas, de resíduos sólidos urbanos (RSU) ou biogás de aterro. Apenas a eletricidade produzida em centrais fotovoltaicas é garantida uma tarifa superior à das centrais a biomassa. Este diploma refere ainda que as remunerações aplicáveis à eletricidade produzida a partir de biomassa florestal serão garantidas durante os primeiros 15 anos a contar do início do fornecimento de eletricidade à rede. No âmbito da biomassa florestal para fins energéticos, é ainda relevante a referência a este tema na Estratégia Nacional para as Florestas, aprovada pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 114/2006 de 15 de Setembro, a qual refere que “para além do apoio à utilização da biomassa florestal em centrais de energia, seja efetuada uma discriminação positiva a esta atividade fora da área de influência das centrais, desde que o material consumido seja biomassa florestal proveniente da gestão de combustíveis no âmbito de medidas de silvicultura preventiva e da exploração florestal (instalação, condução e extração)”. A Estratégia recomenda ainda que seja uma prioridade “o financiamento à investigação de processos para a adoção de tecnologias utilizadoras da biomassa florestal para a produção localizada de energia”.

Segundo DGEG (2012a), Portugal é um país com escassos recursos energéticos endógenos, nomeadamente, aqueles que asseguram a generalidade das necessidades energéticas da maioria dos países desenvolvidos (como o petróleo, o carvão e o gás).

Empenhado na redução da dependência energética externa, no aumento da eficácia energética e na redução das emissões de CO<sub>2</sub>, o Governo definiu as grandes linhas estratégicas para o setor da energia. A Resolução do Conselho de Ministros 29/2010, de 15 de Abril, aprova a nova Estratégia Nacional para a Energia (ENE 2020) tendo em consideração os objetivos para a política energética definida no Programa do XVIII do Governo e dando continuidade às políticas já desenvolvidas (DEGE, 2012a).

A escassez de recursos fósseis conduz a uma elevada dependência energética do exterior (76,7% em 2010), nomeadamente das importações de fontes primárias de origem fóssil. Importa assim aumentar a contribuição das energias renováveis: hídrica, eólica, solar, geotérmica, biomassa (sólida, líquida e gasosa).

A nível nacional, o desenvolvimento destas tecnologias compete à Unidade de Emissões Zero (UEZ) do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG).

A Finlândia, seguida pela Suécia, Áustria e Portugal, estão a cumprir as metas e já fornecem mais de 10% de sua produção energética usando biomassa. Estes países têm feito uso de quase metade do seu potencial de biomassa, e assim têm mostrado que o desenvolvimento do setor de bioenergia pode levar ao desenvolvimento sustentável nesta área (GSES & Ecofys, 2005).

Em termos de impacto de procura de biomassa, as centrais de cogeração, tipicamente instaladas em empresas de base florestal, como indústrias de pasta de papel e indústrias de painéis de madeira, utilizam os resíduos próprios da sua atividade para produzir eletricidade e calor, que é geralmente usado no seu processo industrial. As conhecidas como centrais de biomassa, por sua vez, utilizam os resíduos da floresta. Na figura em baixo apresentam-se todas as centrais dedicadas e as centrais de cogeração atualmente em operação em Portugal. As centrais de cogeração estão instaladas junto de indústrias transformadoras de madeira, nomeadamente painéis de madeira e indústrias de pasta e papel (Silva e Barreira, 2011).

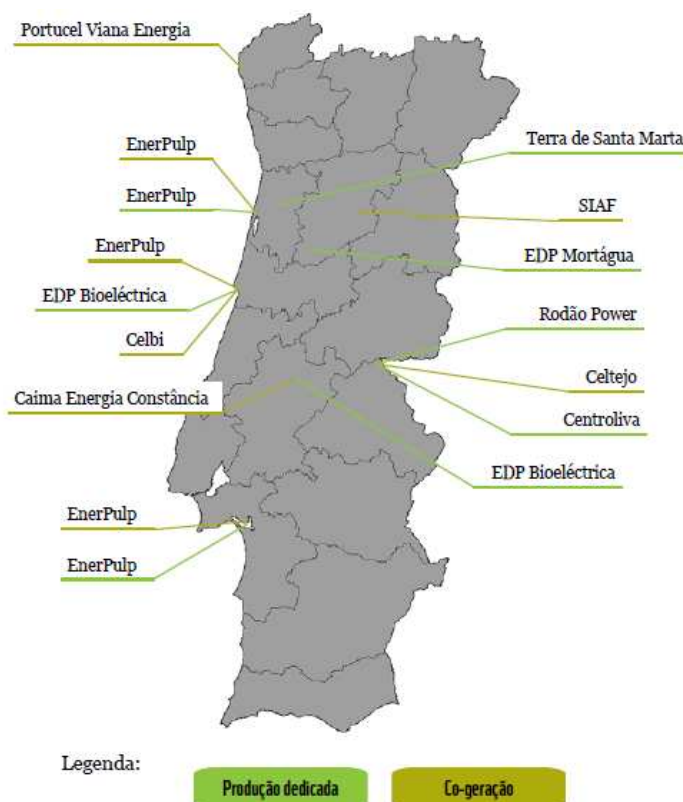


Fig. 4 – Roteiro Nacional das Energias Renováveis – Aplicação da Diretiva 2009/28/CE

Além das centrais atualmente em atividade, segundo o Roteiro Nacional das Energias Renováveis, estava previsto que começassem a operar mais 22 centrais. Assim, a somar aos 395,5 MW de potência instalada em Portugal iria ter mais 181,6 MW até 2018.

O Plano Nacional das Energias Renováveis imposto pela Diretiva das Energias Renováveis 2009/28/CE define uma meta de 31% de incorporação de energia de Fontes de Energia Renováveis (FER) no consumo de energia final em Portugal.



Verifica-se que o consumo total de energia final em Portugal aumentou 66% de 1990 a 2008, de 10,915 ktep para 17,508 ktep (o maior aumento percentual verificado foi na energia elétrica (118%). Assinala-se nesse período o aumento do consumo de energia no setor dos transportes (91%) e o consumo de energia para aquecimento e arrefecimento (A&A) (30%). O consumo de energia para os transportes tem-se aproximado do consumo para A&A. A partir de 2004 o consumo estagnou, tendo mesmo chegado a diminuir em 2007. Em 2008, ambos os consumos foram praticamente equivalentes (DNFF, 2010).

Presentemente já estão em funcionamento ou atribuídas licenças de produção para 257 MW. Se a estas adicionarmos as 7 centrais de cogeração associadas às empresas de produção de pasta com uma capacidade total de 59 MW, perfaz um total de quase 316 MW. Sendo o consumo médio destas centrais estimado em 13 mil t/ano (H=35%) por cada MW, a curto prazo serão necessários 4,1 milhões t/ano de biomassa para satisfazer as necessidades dessas unidades (Anexo 7) (DNFF, 2010).

Para além destas têm-se vindo a instalar outras unidades industriais que competem diretamente pela mesma matéria-prima: é o caso das unidades de produção de *pellets*. Assim, estima-se que a curto prazo as necessidades de matéria-prima para abastecer estas indústrias são de aproximadamente 4,5 milhões de t/ano (DNFF, 2010).

O gráfico seguinte mostra a evolução do consumo de Energia Primária em Portugal, no período 2000-2010.

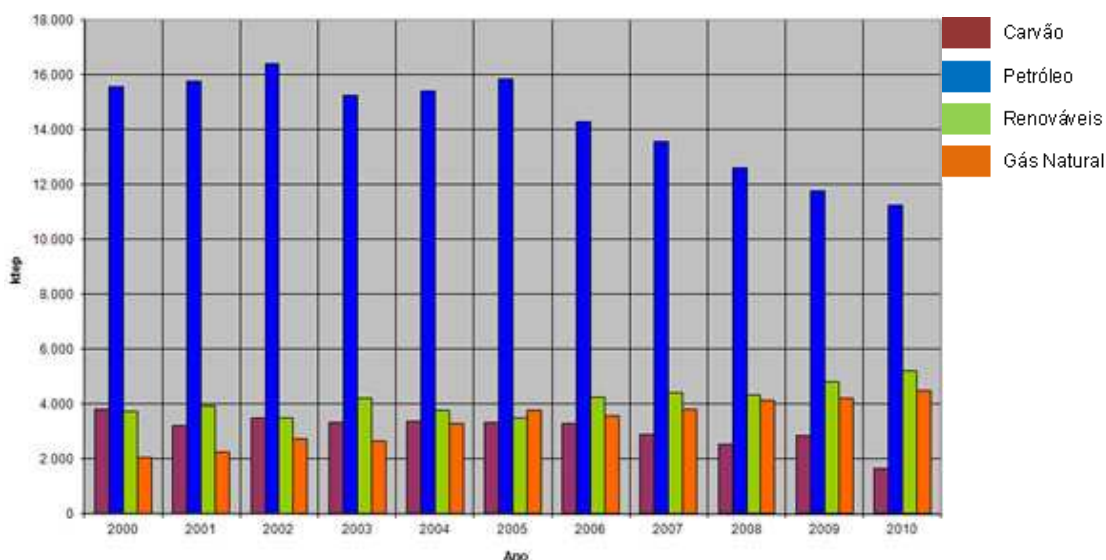


Fig. 5 – Evolução do Consumo de Energia Primária em Portugal (Mtep/ano) (Fonte: adaptado ERSE, 2012)

Em 2010 o contributo das energias renováveis no consumo total de energia primária foi de 23,1% contra 20% em 2009 (DNFF, 2010).

É manifesto o crescimento da potência instalada em FER nos últimos anos para produção de eletricidade. Atingiu-se em 2010, 9777,98 MW de potência instalada sendo 4917,25 MW em hídrica, 784,5 MW em biomassa, 3911,98 MW em eólica, 30 MW em geotérmica e 134,25 MW em fotovoltaica. Em 2010 foram produzidos 29566 GWh de energia elétrica a partir de FER (DNFF, 2010).

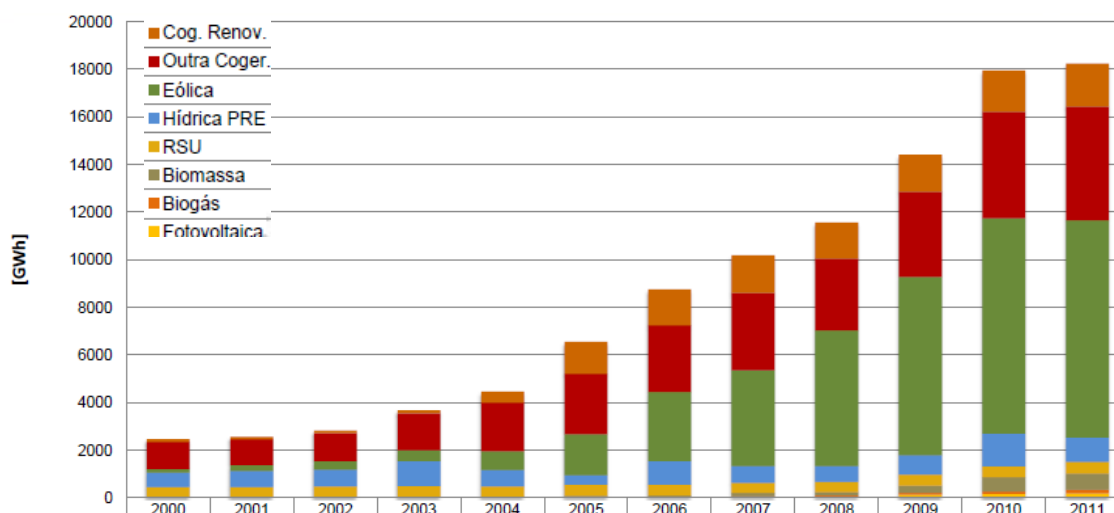


Fig. 6 – Energia anual entregue à rede por tecnologia (GWh) (Fonte: adaptado ERSE, 2012)

### 1.1.2 Biomassa de eucalipto

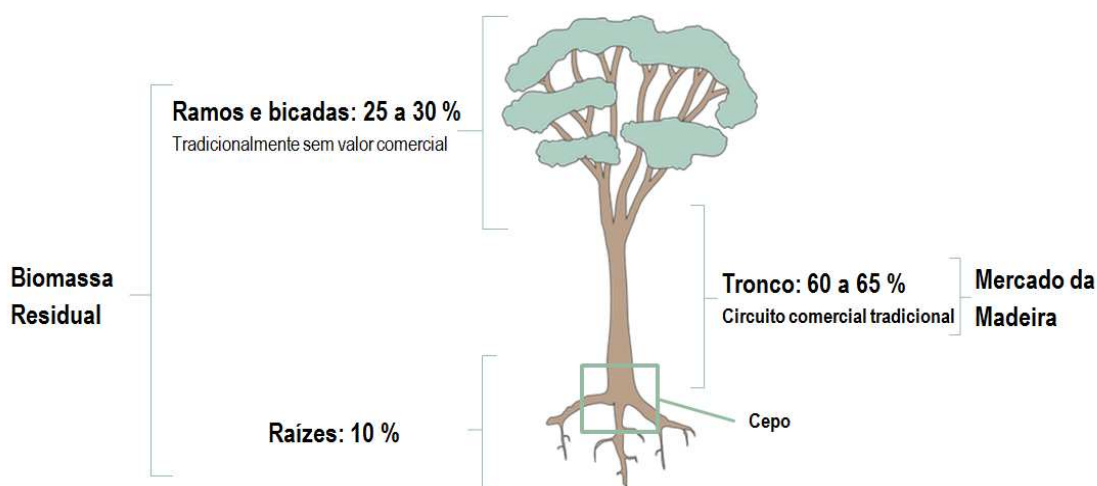
De entre as diferentes fontes de energia renováveis (FER), destaca-se a importância da biomassa, nomeadamente a biomassa florestal energética e a biomassa florestal residual (BFR), utilizadas para produção de energia. O setor da biomassa para fins energéticos tem vindo a sofrer um forte desenvolvimento, com um aumento da produção de energia elétrica à escala nacional como se verifica na Figura 6 (DNFF, 2010).

O termo biomassa foi inicialmente introduzido por Eugene Adam, que referiu que a biomassa é constituída pelo material produzido por todos os seres vivos (animais, vegetais, fungos e protistas). Todo o recurso renovável é oriundo de matéria orgânica, que pode ser utilizada na produção de energia. Assim como a energia hidráulica e outras fontes renováveis, a biomassa é uma forma indireta de energia solar. A energia solar é convertida em energia química, através da fotossíntese, base dos processos biológicos de todos os seres vivos. A biomassa é um tipo de matéria utilizada na produção de energia a partir de processos como a combustão de material orgânico produzida e acumulada em um ecossistema, porém nem toda a produção primária passa a incrementar a biomassa vegetal do ecossistema. Parte dessa energia acumulada é empregada pelo ecossistema para sua própria manutenção. As vantagens são o baixo custo, ser renovável, permitir o reaproveitamento de resíduos e ser menos poluente que outras formas de energias, como aquela obtida a partir da utilização de combustíveis fósseis como petróleo e carvão mineral (Inforse, 2012; GSES & Ecofys, 2005 e Berndes, 2006).

A composição química da biomassa varia entre as diferentes espécies, mas nas plantas consiste em cerca de 25% de lignina e hidratos de carbono e 75% ou açúcares. A fração de hidrato de carbono é constituída por muitas moléculas de açúcar ligadas entre si em cadeias longas ou polímeros. As duas maiores categorias de hidratos de carbono com valor significativo são a celulose e hemicelulose. A fração de lignina é constituída por moléculas do tipo não-açúcar que age como uma "cola" mantendo as fibras de celulose. A natureza usa os polímeros de celulose longos para construir as fibras que dão a sua força à planta (Inforse, 2012).

O exemplo mais conhecido da biomassa é a madeira. Quando queimada, liberta a energia capturada aos raios do Sol. Mas a madeira é apenas um exemplo de biomassa. Os resíduos agrícolas (por exemplo, bagaço de cana, fibra de milho, palha e até mesmo cascas de nozes), resíduos de madeira, (tanoeiras, serradura, aparas de fábrica), o papel já utilizado, os sobrantes do quintal, os resíduos sólidos urbanos, as culturas energéticas (árvores de crescimento rápido como os choupos, salgueiros, e gramíneas), os metanos captados de aterros, os tratamentos de águas residuais municipais e esterco de gado ou aves, também podem ser usados como biomassa.

Uma árvore é composta por raízes, um cepo, tronco, ramos e bicadas, como se pode ver na figura abaixo, os ramos e bicadas estima-se que equivalham a 25 ou 30% juntando a esta percentagem a casca da árvore que conjuntamente com os 10% das raízes corresponde à *Biomassa Residual* da árvore (Rodrigues, 2009).



**Fig. 7 – Distribuição da biomassa e madeira numa árvore (Fonte: adaptado de Santos, 2008)**

Segundo Lopes e Aranha (2006) a distribuição da biomassa por componente, para as espécies eucalipto são substancialmente diferentes, correspondendo 6,3% a folhas, 9% a ramos e 9,7 a

raízes, o que perfaz 25% de biomassa residual. Os restantes 75% correspondem ao tronco da árvore, esta é a parte tradicionalmente utilizada pela indústria de celulose.

O conceito de BFR, nem sempre é consensual, havendo várias definições para esta nomenclatura. Neste trabalho a utilização do termo BFR entende-se como um combustível com origem em sobrantes da floresta de eucalipto, como sejam os ramos, as bicadas e cepos (raízes), sobrantes estes que não são utilizados para a produção de pasta de celulose.

Os objetivos da produção florestal intensiva da maioria das explorações florestais de curta rotação levam a que se utilize normalmente árvores geneticamente melhoradas e densidades de plantação elevadas. A condução destes povoamentos florestais pode ser realizada sob dois regimes: O alto fuste e talhadia. O alto fuste é o regime em que a perpetuidade dos povoamentos é alcançada a partir de sementeira, plantação ou regeneração natural. No regime de talhadia, o maciço florestal regenera-se por gomos epicórmicos que se desenvolvem a partir do cepo deixado no terreno após o corte das árvores, ou seja, após o fim da rotação. A partir da primeira rotação, a condução do povoamento faz-se em regime de talhadia (Gonçalves, 2010).

A touça é o cepo a partir da 2ª rotação, depois do corte da árvore, após a ativação dos gomos epicórmicos. Se não há intenção de se avançar com uma outra rotação, há que proceder ao arranque/destroçamento dos cepos para se realizar a nova reflorestação. O eucalipto é uma espécie utilizada em regime de curta rotação. Aqui, a curta rotação refere-se a cortes finais<sup>1</sup> com um intervalo de 10 a 12 anos e a densidades de plantação na ordem das 1.100 – 1.400 plantas/ha, variando com a qualidade das plantas e a estação e os ciclos<sup>2</sup> de 24 anos.

As árvores são abatidas, desramadas, descascadas e toradas. Depois de transportada a madeira, pode entrar em funcionamento um sistema de exploração de biomassa que consiste na recolha dos sobrantes deixados pela operação anterior. A BFR integra a biomassa da copa (bicada), os ramos e os cepos (se se tratar de uma mudança de ciclo), procedendo-se à limpeza do local e permitindo uma nova plantação. A remoção dos cepos é uma operação particularmente complexa, pois implica maquinaria específica para o seu arranque (por exemplo, giratórias), depois de triturados, a estilha dos cepos precisa de passar por uma operação de crivagem para remover os contaminantes (pedras, areia, etc.).

A sustentabilidade da exploração BFR é suportada por indústrias da fileira florestal que produzem bens transacionáveis exportáveis e de elevado valor acrescentado nacional. Com o

---

<sup>1</sup> Corte final, também designado por corte raso ou de realização, consiste no corte de todas as árvores de um povoamento para posterior processamento e comercialização.

<sup>2</sup> Ciclo, número de anos entre a plantação inicial e plantação seguinte, compreende o número de anos total de todas as rotações do povoamento, habitualmente duas rotações de 12 anos correspondendo a um ciclo de 24 anos.

aproveitamento complementar dos sobrantes de outras atividades de maior valor acrescentado, promovem a geração de emprego (Rodrigues, 2012).

## **1.2 Motivação**

A sustentabilidade ambiental, económica e energética obriga à otimização dos recursos energéticos endógenos, sendo esta uma orientação estratégica de qualquer empresa. O grupo Portucel Soporcel tem também esta preocupação, especialmente pela quantidade de recursos energéticos de biomassa com que lida nos seus processos produtivos. Os cepos, ramos e bicadas de eucalipto são um sobranço que a empresa processa, tendo essa atividade um custo associado. A grande motivação desta dissertação é avaliar se estes custos podem ser transformados num valor. Para tal é necessário quantificar e avaliar técnica e economicamente a viabilidade de um processo de negócio interno associado à valorização deste recurso.

Assim, pretende-se avaliar, a viabilidade técnica e económica da valorização de cepos, ramos e bicadas de eucalipto, fazendo a sua quantificação e caracterização; a sazonalidade associada ao mercado, com a quantificação de fluxos de materiais associados ao processo; o valor energético da biomassa e valorização de externalidades; assim como os custos associados. É importante a caracterização da presente situação assim como projeção para o futuro do potencial uso desta biomassa, definindo modelos de custos para as centrais, em especial as do Grupo Portucel.

Um aspeto relevante na estratégia de sustentabilidade do Grupo Portucel prende-se com a produção de energia renovável, onde esta ocupa uma posição de destaque como primeiro produtor nacional de “energia verde” a partir de biomassa, fonte renovável de energia. Neste setor, o principal risco prende-se com o abastecimento de matéria-prima, e em concreto, com a biomassa.

Existem vários estudos que analisam a vertente do aproveitamento dos sobrantes de eucalipto no contexto nacional, este trabalho pretende fazer a ponte entre a vertente técnico florestal e a valorização económica dos sobrantes resultantes da atividade do Grupo Portucel.

A análise da disponibilidade de biomassa teve por base as áreas ocupadas com eucalipto geridas pelo Grupo Portucel. Na simulação dos custos das operações foram utilizados valores de referência do Grupo Portucel para o aproveitamento de BFR, considerando as centrais de produção dedicada de Cacia e Setúbal.

Existem diversas limitações associadas ao processo e restrições de carácter técnico, ambiental e económico. O conhecimento da quantidade, da qualidade e das possibilidades de uso destes materiais pode gerar uma alternativa de uso que potencie a sua melhor utilização.

Dada a importância da floresta na economia nacional, e sendo o Grupo Portucel o maior proprietário e gestor florestal privado do país, encara a floresta como um dos pilares para a sustentabilidade da sua atividade, promovendo uma gestão eficiente, competitiva e responsável das suas plantações e espaços agroflorestais.

### 1.2.1 Necessidade da empresa em dar solução aos sobrantes

A utilização de *Resíduos Florestais* (sobrantes) apresenta vantagens técnicas e económicas, este aproveitamento pode ser realizado no final de cada rotação, recolhendo-se ramos e bicadas, ou no final do ciclo produtivo, utilizando as bicadas, os ramos e os cepos.

O eucalipto tem um modelo de silvicultura específico devido ao facto de após ser cortado, este ter a capacidade de rebentar de touça, que após a ativação dos gomos epicórmicos, dá origem a várias varas, que no caso de se pretender gerir o povoamento com objetivo de produção de madeira, estas devem ser selecionadas deixando-se no máximo as três varas dominantes (Figuras abaixo).



Fig. 9 – Rebentação de eucalipto antes da seleção das varas



Fig. 8 – Rebentação de eucalipto depois da seleção das varas

A Figura infra representa o esquema produtivo do eucalipto, com a identificação dos momentos de corte, onde se realiza a recolha dos sobrantes.



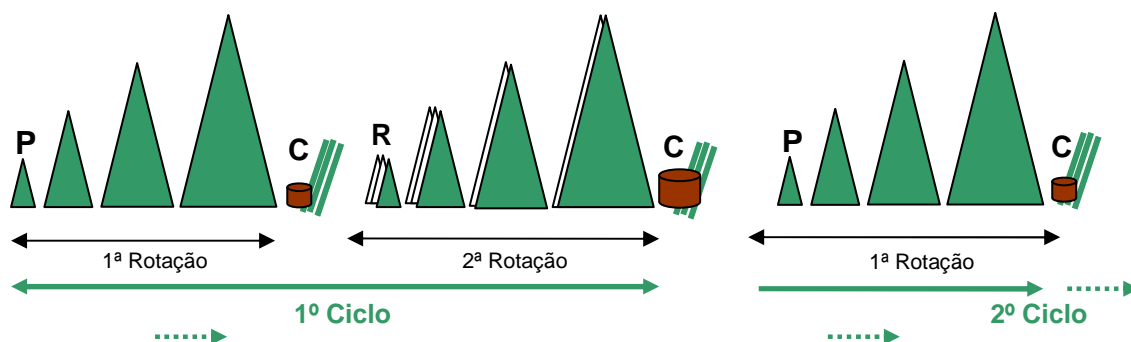


Fig. 10 - Esquema representativo do ciclo produtivo do eucalipto, onde P – plantação, C – corte e R – rebentação



Fig. 11 – Povoamento de eucalipto em 1ª rotação



Fig. 12 – Povoamento de eucalipto em 2ª rotação

Existe uma relação entre as propriedades recentemente exploradas de eucaliptais em 2ª ou mais rotações, e as propriedades onde se realiza o aproveitamento de sobranes (cepos). Se estiver prevista a preparação do terreno, a redução da quantidade de sobranes a incorporar no solo facilita esta tarefa e conduz a uma redução nos custos de instalação do novo povoamento.

No caso de novas instalações pode ser também previsto, para além do aproveitamento dos cepos, o aproveitamento dos ramos e das bicadas de eucalipto.

Com o aparecimento de mercados de aproveitamento da biomassa florestal para fins energéticos, esta deixou de ser considerada resíduo florestal e o que antes era um problema para os proprietários, pois tinham que se libertar dela, tendo algumas vezes de pagar para tal de forma a diminuir o risco de incêndio da sua propriedade e propriedades vizinhas, passou a constituir recurso novo, contribuindo para a gestão sustentável da floresta e capaz de melhorar a sua rentabilidade. Para que isso seja possível, é necessário que, essencialmente, o aproveitamento da biomassa florestal para fins energéticos seja dinamizado e que o proprietário florestal tenha uma participação empresarial no(s) processo(s) deste aproveitamento (Enes, *et al.*, 2007).

Para este trabalho partiu-se do pressuposto que apenas a 24<sup>a</sup> parte da área total das unidades de gestão é que seriam alvo de intervenção em cada ano, no que se refere ao aproveitamento de cepos para produção de energia, tendo em conta que o ciclo produtivo considerado é de 24 anos, duas rotações. No que se refere aos ramos e bicadas considerou-se a 12<sup>a</sup> parte da área total por ano, considerando que será realizada a sua recolha no final de cada rotação de 12 anos. Assim não foi feita uma quantificação real do estágio de desenvolvimento de cada unidade de gestão, partiu-se sim do pressuposto que seria extraída anualmente sempre a mesma quantidade de BFR.

### 1.2.2 Potencial valor do resíduo para fins energéticos

O Grupo Portucel tem reforçado a sua posição como entidade produtora e fornecedora de biomassa florestal e de subprodutos da madeira. A exploração integrada da floresta de uma forma sustentável e as preocupações na salvaguarda da biodiversidade, são princípios fundamentais para o equilíbrio na obtenção de matéria-prima para a produção de bens transacionáveis de elevado valor acrescentado, como é o caso da pasta de celulose e do papel, e obtenção de recursos sobranes de biomassa para a produção de energia. O Grupo continuou o abastecimento dos seus centros de receção de biomassa, incluindo os situados nas unidades fabris, dando continuidade à otimização da exploração dos equipamentos de trituração de biomassa adquiridos e da respetiva logística relacionada com as operações ligadas a este recurso (Grupo Portucel, 2012b).

A produção de energia é efetuada principalmente a partir de biomassa, de forma dedicada e em cogeração, produzindo-se vapor e eletricidade, sendo o primeiro consumido internamente e a segunda vendida à rede nacional de energia. (Grupo Portucel, 2012a). O combustível em análise é a biomassa sólida proveniente de sobranes de exploração florestal de povoamentos de eucalipto onde o objetivo principal é a produção de madeira para pasta/papel.

No final de 2009 início de 2010 com o início de laboração das novas centrais dedicadas de Cacia e de Setúbal, existiu uma mudança na forma como se geria os *stocks* de BFR devido à instalação de equipamentos fixos de trituração – *crushers*, que permitiram uma redução significativa dos custos e baixar a dependência de matéria-prima externa. Com uma potência unitária de 12,5 MW, estas centrais poderão comercializar 167 GWh/ano de energia elétrica.



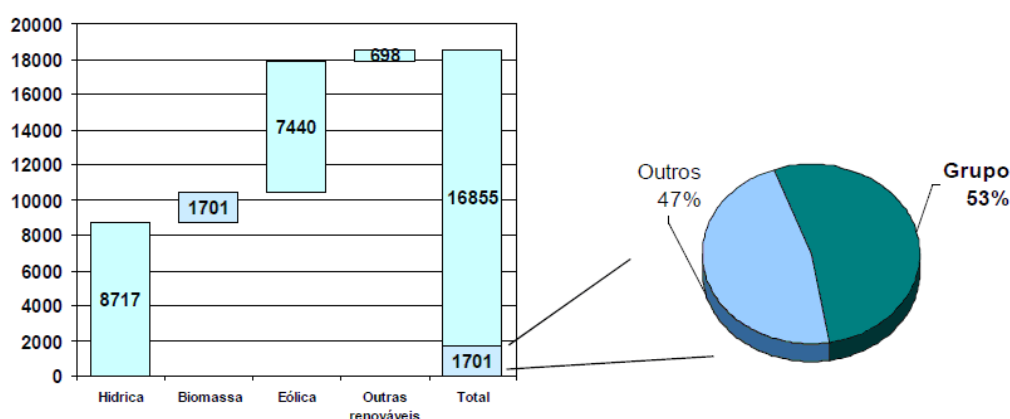


Fig. 13 – Produção de energia elétrica a partir de energias renováveis (GWh/ano), evidenciando a quota-parte do grupo Portucel, na produção de energia a partir de biomassa (Fonte: Carvalho, 2010b)

### 1.3 Objetivos

A indústria da pasta e do papel, ocupa atualmente um lugar de destaque na economia nacional. Atendendo à importância deste setor torna-se importante valorizar alguns dos seus subprodutos e resíduos (sobrantes).

O principal objetivo da dissertação será a **avaliação da viabilidade técnica e económica da valorização de cepos, ramos e bicadas de eucalipto**. A indústria florestal é hoje responsável por 10% das exportações nacionais, o que equivale a 3mil milhões de euros anuais. Para além disso, tem a capacidade de gerar VAN (Valor Acrescentado Nacional) superior à maioria dos outros setores. Hoje em dia importa-se matéria-prima, pelo que, deve haver um cuidado acrescido em ações que possam levar a desequilíbrios na oferta das matérias-primas florestais (madeira e biomassa) (DNFF, 2010).

Os objetivos secundários, que estão associados às várias componentes do trabalho, são:

**Avaliação dos recursos disponíveis** nas áreas sob gestão do Grupo Portucel, no final de 2011, este tinha sob gestão cerca de 120 mil hectares de floresta, segmentados em 1 415 unidades de gestão distribuídas por 158 concelhos do país.

Considerando os vários Inventários Florestais Nacionais, que permitem ter um melhor conhecimento da estrutura florestal do país e da evolução das diferentes espécies. O 5º Inventário Florestal Nacional (2005-2006), o ultimo realizado, foi baseado numa cobertura fotográfica aérea digital e levantamentos de campo, foram disponibilizados os resultados de diversos atributos da floresta portuguesa, com base nas regiões NUTS<sup>1</sup> de nível II<sup>1</sup> e regiões

<sup>1</sup> Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos. Nomenclatura definida pela União Europeia, com objetivo de proporcionar uma discriminação única e uniforme das unidades

PROF<sup>2</sup>. Segundo este a floresta portuguesa ocupa atualmente 3.541.284ha, 38% da área do território nacional, sendo as espécies florestais mais representativas em termos de área ocupada, o pinheiro bravo (28%), o sobreiro (23%), o eucalipto (23%) e a azinheira (13%) (Anexo 1 e Anexo 4).

**Análise a sazonalidade associada ao mercado**, com a caracterização de fluxos de materiais associados ao processo. Análise da variação anual nas entregas de BFR nos centros fabris de Cacia e Setúbal. Identificação das medidas adotadas para gerir a variação de *stocks*. Análise dos procedimentos adotados no armazenamento da BFR, de forma a garantir as quantidades necessárias para manter o funcionamento das centrais. Identificação das vantagens e limitações do armazenamento.

**Avaliação do valor energético da biomassa e valorização de externalidades**, o valor energético da biomassa varia com o tipo de recurso florestal e com o seu grau de humidade, este está relacionado com as propriedades físicas e químicas das suas macromoléculas. Identificação das consequências externas não incluídas nos preços da energia, nomeadamente as restrições ambientais.

**Avaliação de custos**, os custos associados à produção da BFR não irão ser considerados neste trabalho, nomeadamente, a preparação do terreno e plantação, os cuidados de manutenção (limpezas de mato, adubações), serão imputados na íntegra à produção de madeira para celulose, pois este foi o objetivo principal para a instalação do povoamento. Os custos que serão contabilizados são os relacionados com a recolha, processamento e transporte e armazenamento da BFR, do local de produção até à central.

## 1.4 Dados utilizados

Foram usadas as áreas ocupadas com povoamentos de eucalipto das unidades de gestão geridas pelo Grupo Portucel (1415), no final de 2011, correspondendo a cerca de 120 mil hectares de floresta, dos quais aproximadamente 101 mil hectares eram de eucalipto. Foi realizada uma distribuição destas áreas por classes de distância (10 em 10 km) às centrais de Cacia e de Setúbal.

A quantidade de biomassa florestal residual que se estima que exista num hectare de floresta de produção de eucalipto é de 40ton para os cepos em 2ª rotação e de 10ton de ramos e bicadas após a exploração (1ª e 2ª rotação).

---

territoriais para a produção de estatísticas regionais. De acordo com o Regulamento (CE) n.º 1059/2003 do Parlamento Europeu e do Conselho de 26 de Maio de 2003.

<sup>1</sup> Nível II, composto por sete unidades, cinco no continente, a Região Autónoma dos Açores e a Região Autónoma da Madeira.

<sup>2</sup> Planos Regionais de Ordenamento Florestal, definidos no Decreto-Lei 204/99 de 9 de Junho.

## 1.5 Estrutura

O desenvolvimento deste trabalho foi efetuado em 5 capítulos, segundo a seguinte estrutura:

No capítulo 1, são apresentadas as políticas energéticas preconizadas para a biomassa, a nível nacional e internacional. São ainda identificados os objetivos do trabalho, onde se pretende avaliar a viabilidade técnica e económica da valorização de sobranes de eucalipto, considerando a sua disponibilidade e a sazonalidade associada ao mercado.

No capítulo 2, são identificados os pontos fortes e fracos da utilização de biomassa florestal. São descritos os tipos de equipamentos utilizados para a recolha e processamento da BFR de eucalipto, e são descritas as opções de processos logísticos para o material chegar aos centros fabris. Referem-se igualmente os processos de aproveitamento para a biomassa, face ao estudo que se pretende desenvolver.

No capítulo 3, são desenvolvidos os objetivos propostos neste trabalho, apresentando a quantificação dos recursos de BFR disponíveis assim como os custos associados às operações de recheia, trituração e transporte. É efetuada a avaliação do valor energético da biomassa de eucalipto.

Para o capítulo 4, baseamo-nos nos anteriores, cruzando toda a informação obtida na identificação dos custos, no valor energético da BFR, na disponibilidade dos recursos, nos investimentos num novo sistema de crivagem, e foi aplicado o modelo *LCOE (Levelized Cost of Energy)* que permite identificar o ponto ótimo para cada uma das Centrais, verificar a partir de que distâncias o retorno do investimento diminui. Foi realizada a análise da viabilidade técnica e económica do aproveitamento de BFR.

No capítulo 5, apresentam-se as conclusões obtidas com a aplicação da metodologia desenvolvida, bem como, algumas lacunas e recomendações para trabalhos futuros.

A respetiva bibliografia consultada para a elaboração da presente dissertação foi apresentada em ponto próprio, bem como os respetivos anexos.

## 2. BIOMASSA

A biomassa, energia armazenada do Sol sob a forma química em materiais vegetais e animais, é um dos recursos mais preciosos e versáteis na terra, pois fornece não apenas alimento, mas também energia, materiais de construção, papel, tecidos, medicamentos e produtos químicos. Serve o homem desde que este descobriu o fogo e o utilizou como fonte de energia (GSES & Ecofys, 2005 e Inforse, 2012).

O *Eucalypto globulus* é uma espécie de crescimento rápido originária da Austrália, que em regime de talhadia obtém uma produtividade de biomassa elevada. IFN5 a distribuição geográfica da espécie de eucalipto em Portugal continental é de 739 510ha o que corresponde a 23%. A biomassa de árvores vivas de eucalipto segundo o último inventário florestal nacional é de 34 227Kton, incluindo a biomassa aérea e subterrânea das árvores em povoamentos puros, mistos dominantes, mistos dominados, jovens puros/dominantes e dispersos (Anexo 4). Se for unicamente considerada a biomassa de povoamentos puros e dominantes de eucalipto o valor diminui para 29 191kton, com uma biomassa total de 43,6ton/ha para povoamentos puros e 48,6ton/ha respetivamente povoamentos dominantes.

De acordo com Berndes (2006) a disponibilidade potencial de resíduos de biomassa pode ser dividida em:

- ▶ Resíduos primários: resíduos gerados antes e durante a colheita do produto principal, por exemplo topos e folhas de cana-de-açúcar;
- ▶ Resíduos secundários: resíduos gerados no processamento para fazer produtos, por exemplo, bagaço de cana, casca de arroz, licor negro;
- ▶ Resíduos terciários: resíduos gerados durante e pós-utilização final (e não de produtos usados), por exemplo, madeira de demolição, resíduos sólidos urbanos (RSU).

A BFR é um subproduto de atividades realizadas com a finalidade de obter um produto principal e como tal, pode ter diversas origens. O maior contributo para a produção de BFR provém da gestão dos povoamentos florestais, centrada na produção de madeira para um conjunto de fins: aglomerados, serração, postes ou folheados. Existem, no entanto, outras atividades que produzem BFR e que é necessário considerar. A BFR pode ser originada no decurso das atividades a seguir descritas (Netto, 2008):

Gestão dos povoamentos florestais - o corte final, também designado por corte raso ou de realização, consiste no corte de todas as árvores de um povoamento para posterior processamento e comercialização. As árvores são abatidas, desramadas, descascadas e

toradas. Depois de transportada a madeira, pode entrar em funcionamento um sistema de exploração de BFR que consiste na recolha dos resíduos/sobrantes deixados pela operação anterior. A BFR é composta pela biomassa da bicada, dos ramos, da casca e dos cepos, procedendo-se à limpeza do local e facilitando os trabalhos da nova plantação.

Atividades industriais - Indústrias de Pasta, de Papel e Cartão: as indústrias de produção de pasta e papel (CAE 21) têm uma longa tradição no aproveitamento de BFR para fins energéticos. Um subproduto dos processos utilizados na produção de pasta e papel, o licor negro, passa de resíduo a matéria-prima através da sua combustão, gaseificação ou pirólise para produzir parte do calor necessário para os processos industriais da própria fábrica.

Em 2011 o Grupo Portucel atingiu uma produção bruta de energia elétrica superior em 11,2% face ao ano anterior. Verificou-se assim a consolidação dos vários investimentos na área de produção de energia tendo a produção total de energia elétrica correspondido a quase 4% da produção total nacional (Grupo Portucel, 2012b).



**Fig. 14 – Produção bruta de energia elétrica ano de referência 2008 do Grupo Portucel**

A produção de energia do Grupo Portucel foi essencialmente assegurada em 65% por centrais de cogeração e centrais termoelétricas a biomassa que fazem recurso a combustíveis renováveis (biomassa florestal e subprodutos da madeira resultantes do processo de produção de pasta) (Grupo Portucel, 2012b).

O Grupo Portucel mantém a liderança e assume o seu estatuto de maior produtor nacional de eletricidade a partir de biomassa, estimando-se ter representado, em 2011, 51,6% do total de energia elétrica produzida a partir deste recurso.

## 2.1 Aspetos genéricos de aproveitamento de biomassa

Segundo Lippel (2012), as fontes de biomassa podem ser divididas em quatro categorias, de acordo com a sua origem:

1. Culturas para fins energéticos, são cultivadas principalmente para a produção de energia. A sua função é capturar a radiação solar para armazená-la na biomassa. Exemplos de colheitas de energia são a colza, o girassol, o *Miscanthus sinensis*, o milho e o eucalipto;
2. Sobrantes/resíduos agrícolas e florestais, que são gerados na colheita de cereais e no corte de árvores, tal como a palha e os resíduos de madeira, são desperdícios naturais. Este grupo de “subprodutos” é especialmente adequado para a reciclagem energética, porque reduz os custos de produção dos produtos principais, ou aumenta o rendimento da cadeia de cultivo. Este trabalho irá incidir sobre os sobrantes florestais;
3. Subprodutos orgânicos, resultantes do processamento da biomassa para criação de produtos, forma um grupo adicional de subprodutos, estes incluem os resíduos orgânicos, os efluentes da agropecuária e os resíduos do processamento industrial da madeira e de fibras vegetais. Nestes casos, a reciclagem energética pode conduzir a um aumento da utilidade e assegurar que partes do processo de produção sejam permanente e ambientalmente sustentáveis;
4. Resíduos orgânicos, incluem os resíduos domésticos e as lamas dos efluentes domésticos e industriais, como por exemplo, os resíduos da produção alimentar. Estes resíduos estão geralmente sujeitos à legislação respetiva. Consequentemente, deve ser cumprida uma gama completa de requisitos legais, desde a origem até ao controlo epidémico.

A biomassa vegetal encontra-se, geralmente num estado sólido agregado. Tem ainda uma forma geométrica e um teor de água que, na maior parte dos casos e por razões técnicas, define o uso energético direto.

As fontes de biomassa utilizadas como combustíveis são classificadas pelo seu estado de agregação: sólido, líquido ou gasoso. Esse estado determina a possibilidade de utilização das fontes de biomassa e o tipo de infraestrutura de conversão energética necessária. Os permutadores de calor ou os sistemas de combustão combinados de calor e energia, são capazes de usar combustíveis sólidos, enquanto os motores de combustão e as pilhas de combustível, são incapazes de o fazer (Carvalho, 2004).

A forma e o estado de agregação, dos produtos de biomassa processados, são determinados pelas tecnologias e sistemas de conversão disponíveis. Para cada tipo de utilização existe um método de operação otimizado para as características da biomassa e níveis de desempenho específicos. (Carvalho, 2004).

Existem três formas fundamentais de energia: a energia calorífica, energia mecânica e energia elétrica, o uso das fontes de biomassa pode cobrir estes três tipos de energia (Lippel, 2012).

Na energia calorífica normalmente o calor é produzido em sistemas de combustão. Numa pequena escala, estes sistemas podem aquecer uma habitação, enquanto em larga escala, numa central, o calor disponível por meio de redes de calor pode abastecer quarteirões de uma cidade. Para sistemas de combustão estacionários, cuja única função seja a produção de calor, predominam os combustíveis sólidos. Assim, madeira como resíduo ou matéria-prima, pode ser usada para geração de calor, com baixos custos de processamento, de trituração e secagem.

A energia mecânica é produzida por meio de geradores de calor e energia, como as máquinas a vapor. Nestas, o combustível líquido ou gasoso é inflamado nos cilindros de um motor de combustão. A expansão da mistura combustível/ar, causada pela combustão é então convertida em energia. O calor produzido por este processo tem de ser dissipado para o ambiente, através de um sistema de arrefecimento.

Na energia elétrica os sistemas que produzem energia mecânica, em motores de combustão ou em turbinas de combustão direta e indireta, são acoplados a geradores elétricos. Estes convertem a energia mecânica em energia elétrica. A utilização de energia mecânica para produção de energia elétrica gera aproximadamente dois terços de calor, para um terço de eletricidade, o que demonstra o aumento da eficiência económica da cogeração (produção simultânea de calor e eletricidade) em aplicações estacionárias. O biogás, proveniente dos aterros, da reciclagem de resíduos agrícolas ou de outros resíduos orgânicos pode ser utilizado, em centrais estacionárias para produção de energia.

### 2.1.1 Pontos fortes

Identificação dos pontos fortes e fracos na produção da biomassa:

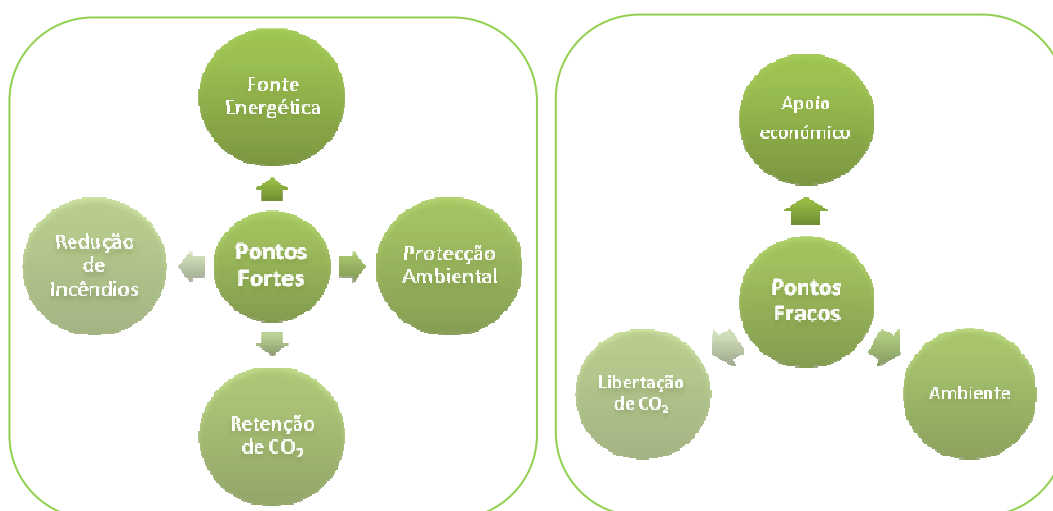


Fig. 15 – Esquema representativo dos pontos forte e fracos da recolha de biomassa

---

**Fonte Energética** BIBLIOGRAFIA: (CCE, 2005a; Haberl and Erb, 2006; Netto, 2008; Enes, et al., 2007; DNFF, 2010; GSES & Ecofys, 2005; Gonçalves, 2010; Inforse, 2012; Heinrichs, 2011; Mendonça e Sacadura, 2005 e Carvalho, 2004).

---

**Revitalização da economia rural:** Aposta nos recursos endógenos como forma de criação de riqueza; Cumpre os três grandes objetivos da sustentabilidade: coesão social (melhoria do bem-estar material das comunidades rurais), desenvolvimento económico e proteção do ambiente. Aumento do rendimento das propriedades, dos proprietários e diversificação de mercados, pelo aumento da competitividade internacional.

**Menor dependência** em relação a variações climáticas de curto prazo, permitindo a regularidade da produção e possibilidade de modulação, dada a disponibilidade da biomassa.

**Redução de excedentes** florestais, aumentando a competitividade;

**Flexibilidade de aplicações:** é a única energia renovável que pode ser convertida em combustíveis gasosos, líquidos ou sólidos, por meio de tecnologias de conversão conhecidas; e nas três principais formas energéticas: eletricidade, calor, e combustível. Esta flexibilidade permite à biomassa estar em concorrência direta com a energia produzida por fontes fósseis.

**Social:** Aumento do número de empregos criados, diretos e indiretos (para produção, colheita e utilização), e do crescimento industrial. Estimula a criação e/ou dinamização de outras empresas locais e regionais, nomeadamente no sector dos transportes de carga e dos serviços florestais.

**Segurança:** Contribui para a segurança do abastecimento energético, dado diversificar as fontes de energia e, ao mesmo tempo, diminuir a dependência externa de energia e dos combustíveis fósseis em geral, potenciando a pressão na diminuição dos preços, devido à diminuição da procura.

---

**Proteção Ambiental** BIBLIOGRAFIA: (Inforse, 2012; Heinrichs, 2011 e Carvalho, 2004).

---

Ajuda a manter a saúde da floresta através de uma melhor gestão, que por sua vez fornece o habitat para animais selvagens, e reduzem a erosão dos solos, o escoamento de nutrientes, e protegem os ecossistemas aquáticos.

Armazenamento da biomassa é seguro e inofensivo.

A utilização da biomassa como um combustível renovável pode reduzir a pegada ecológica energética.

---

**Retenção de CO<sub>2</sub>** BIBLIOGRAFIA: (GSES & Ecofys, 2005; Inforse, 2012 e Carvalho, 2004)

---

Todos os povoamentos florestais armazenam carbono nas plantas e raízes enquanto crescem, proporcionando um sumidouro de carbono. A quantidade de dióxido de carbono libertado é a mesma que foi consumida durante o processo da fotossíntese. Assim, as fontes de biomassa são consideradas neutras (ciclo de carbono fechado), relativamente aos danos climáticos, decorrentes do efeito estufa.

---

**Redução de Incêndios** BIBLIOGRAFIA: (Enes, et al., 2007; Gonçalves, 2010; Mendonça e Sacadura, 2005; CCE, 2005a e Grupo Portucel, 2012a).

---

A gestão dos espaços florestais para além de diminuir o risco de incêndio reduz a proliferação de pragas e doenças e garante a desobstrução das acessibilidades no interior das florestas.

A redução do risco de incêndio a subsequente diminuição da área ardida, permitem a redução de custos (dado serem efetuadas grandes poupanças no combate aos incêndios e nas ações de rearborização de áreas ardidas), reduzem danos (nomeadamente o valor da madeira que arde; o valor paisagístico; e os níveis acrescidos de erosão e degradação dos sistemas pedológicos e hidrológicos a que ficam sujeitas as áreas ardidas) e contribui para a diminuição de emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera (as florestas são um sumidouro

---



## 2.1.2 Pontos fracos

**Apoio Económico** BIBLIOGRAFIA: (Silva e Barreira, 2011; Gonçalves, 2010; Grupo Portucel, 2012a; Rodrigues, 2012; FAO, 2010; Rodrigues, 2009; APREN, 2010 e Carvalho, 2004).

Inadequação dos incentivos financeiros de apoio à floresta e à conversão energética.

A biomassa, tal como a lenha, estilha e *pellets*, esta sujeita a IVA a taxa normal de 23%. Verifica-se no entanto que a eletricidade e o gás natural estão sujeitos a uma taxa reduzida de 6% e que combustíveis fósseis como o petróleo, fuelóleo, gasóleo e gasóleo de aquecimento estão sujeitos a taxa intermédia de 13%. Esta situação prejudica gravemente o sector da biomassa e entra claramente em contradição com os objetivos da UE.

Inexistência de um mercado da fileira da biomassa: é lógico considerar a existência efetiva de dificuldades na recolha da biomassa e na sua comercialização. Estas dificuldades derivam basicamente da escassez de mão-de-obra nos meios rurais e da necessidade de equipamentos especializados.

Limitação do tipo de propriedade, dimensão, dispersão, regime de titularidade. Tempo variável de produção.

Instabilidade no circuito oferta/procura e do abastecimento de matéria-prima aos centros fabris.

Elevado custo do transporte, manuseamento e armazenamento (relação massa/volume, e heterogeneidade de dimensões e formas) devido à baixa densidade dos resíduos florestais. Existência de inertes que dificulta o processo de produção.

Complexidade dos sistemas de alimentação de biomassa florestal e tecnologias de produção e uso final de energia.

A utilização de madeira de eucalipto para biomassa, em detrimento da sua utilização para a produção de bens transacionáveis, está a introduzir graves distorções no mercado da madeira podendo levar, em última instância, ao encerramento de alguns setores (ex: serrações e fábricas de aglomerados).

Eventuais alterações das tarifas de venda de energia com origem em fontes renováveis poderão ser penalizantes para os produtores.

Concorrência entre usos de solo, por exemplo, com a produção alimentar.

Menor poder calorífico, comparativamente aos combustíveis convencionais.

A pressão sobre o recurso poderá aumentar consideravelmente o seu custo comprometendo a rentabilidade dos projetos.

Elevados custos de investimentos por unidade de potência instalada.

**Ambiente** BIBLIOGRAFIA: (Silva e Barreira, 2011; Gonçalves, 2010 e Haberl and Erb, 2006).

As práticas florestais adotadas e a produção de bioenergia podem ter diferentes impactos, resultando em problemas ambientais similares como os da agricultura intensiva: degradação do solo (qualidade, compactação e erosão), substituição de valiosos ecossistemas por monoculturas, potenciais impactes sobre a biodiversidade, maior probabilidade de emissão de partículas para a atmosfera.

Tamanho da “Pegada Ecológica” para a própria produção de biomassa.

**Libertação de CO<sub>2</sub>** BIBLIOGRAFIA: (Haberl and Erb, 2006).

A exploração humana de biomassa pode libertar carbono mais cedo do que teria sido libertado na ausência da atividade humana. A introdução de alterações de ocupação de solo devido aos sistemas de produção de biomassa afetam, e muitas vezes reduzem, a quantidade de carbono armazenado nos ecossistemas.

## 2.2 Incentivos à produção de eletricidade a partir da biomassa

Desde o início do desenvolvimento das energias renováveis no setor energético, que tem havido um debate sobre qual, o melhor e mais eficaz regime de apoio (incentivo). A Comissão Europeia publicou uma pesquisa em dezembro de 2005, que fornece uma visão geral da experiência até à data. Segundo este relatório, em tarifas de aquisição, são o mecanismo mais eficiente e bem-sucedido. Globalmente, mais de 40 países adotaram alguma versão do sistema. Embora a forma organizacional dessas tarifas difira de país para país, existem certos critérios claros que emergem como essenciais para a criação de uma política energética bem-sucedida e renovável. A base deste regime é seguro, o que faz dele um regime de apoio rentável para projetos de energia renovável, que prevê estabilidade e garantias a longo prazo. (Greenpeace e EREC, 2008).

Os incentivos podem não ser o meio mais eficaz de tornar a energia renovável mais competitiva ou para satisfazer objetivos políticos mais vastos. A internalização dos custos de certas externalidades, por exemplo através da institucionalização mais generalizada ou preços mais elevados de CO<sub>2</sub>, podem representar uma abordagem economicamente mais eficiente, apesar de existirem obstáculos políticos a serem superados. A escolha do mecanismo ideal (ou, mais frequentemente, dos mecanismos) depende em parte das circunstâncias nacionais. Em geral, as políticas devem fornecer um quadro de incentivos que levem em conta a maturidade da tecnologia e promovam uma transição suave para a integração num mercado de massas (IEA, 2011b).

A maior parte dos incentivos à produção de energia a partir da biomassa são restritos ao setor da eletricidade. Existe atualmente na UE um conjunto de regimes de apoio diversos, que podem classificar-se em quatro grandes grupos: tarifas de aquisição, certificados verdes, regimes de concurso e incentivos fiscais (CCE, 2005a).

**Tarifas de aquisição (*feed-in tariffs*):** caracterizam-se por um preço específico (fixo) por unidade de energia que é pago ao produtor de energia renovável, e válido para um período de vários anos que deve ser pago pelas empresas de eletricidade (CCE, 2005a). Estes regimes possuem as vantagens de garantir a segurança de investimento, a possibilidade de ajuste e a promoção de tecnologias a médio e longo prazo. Por outro lado, são difíceis de harmonizar a nível da UE, podem ser questionados à luz dos princípios do mercado interno e envolvem um risco de sobre financiamento, se a curva de aprendizagem de cada tecnologia E-FER não assumir uma forma progressiva ao longo do tempo (CCE, 2005b).

Este sistema é o mais usual na UE, nomeadamente em Portugal, Espanha e França.

**Certificados verdes (*green certificates*):** neste esquema de incentivo, os consumidores (ou produtores, em determinados países), geralmente através dos seus fornecedores de eletricidade, são obrigados a ter parte do seu consumo satisfeito a partir de eletricidade de FER de acordo com uma percentagem fixa, ou quota, do seu consumo/produção total de eletricidade. A consequência é a criação de um mercado concorrencial na aquisição de certificados, favorecendo os produtores que produzem eletricidade mais barata. Países como a Itália, Bélgica ou Polónia adotaram este tipo de incentivo (CCE, 2005a e CCE, 2005b).

**Concurso (*tender*):** nos concursos públicos, o Estado lança uma série de convites à apresentação de propostas para o fornecimento de E-FER, que é então fornecida numa base contratual com a empresa vencedora, ao preço a que foi adjudicada. Este mecanismo aplica-se, no caso português (mais de 40%), em conjunto com as tarifas de aquisição. Os custos adicionais ocasionados pela compra de E-FER repercutem-se a nível do consumidor final de eletricidade sob a forma de uma imposição especial. Se os regimes de concurso permitem, teoricamente, utilizar o melhor possível as forças do mercado, o seu caráter descontínuo não contribui para a criação de condições estáveis. Este tipo de regime envolve igualmente o risco de, se as propostas forem baixas, os projetos não se realizarem (CCE, 2005b).

**Incentivos fiscais (*tax incentives*):** consistem na redução da carga fiscal da eletricidade produzida a partir de FER, aumentando a sua competitividade com os restantes produtores. É usado como um instrumento político adicional (CCE, 2005a).

As tarifas de aquisição e os certificados verdes constituem a quase totalidade dos incentivos na UE. As tarifas de aquisição podem sobre financiar as energias renováveis sendo um sistema com maiores custos do que o sistema dos certificados verdes. Os certificados verdes, se criarem um mercado que funcione bem, podem ser mais eficazes. Por exemplo, o mercado será muito sensível às variações meteorológicas sazonais. Num Inverno chuvoso, a hidroeletricidade pode criar um excesso de certificados no mercado, o que reduzirá o seu preço e prejudicará os produtores. Parte da solução pode passar por estabelecer preços mínimos e máximos para os certificados verdes, salvaguardando os interesses dos produtores e consumidores. As tarifas de aquisição levantam um problema que se verifica em Portugal. O sistema português de incentivo à utilização da biomassa para produção de eletricidade consiste num sistema misto entre as tarifas de aquisição e o concurso.

A tarifa de aquisição para a biomassa, calculada através das orientações dispostas no Decreto-Lei nº33-A/2005, situa-se entre 106-108 €/MWh para centrais de potência superior a 5 MWE. Devido às diferenças nas tarifas de aquisição entre os vários Estados-membros, existe biomassa florestal em Portugal a ser exportada para países como a Itália. De facto, considerando a tabela seguinte, pode-se verificar que existem grandes diferenças entre as tarifas praticadas. Isto coloca aos Estados-membros exportadores o problema de enfrentar a

escassez de biomassa para abastecer as suas próprias centrais. Ao nível ambiental, a exportação torna esse sistema de abastecimento específico num sistema com emissões superiores, se considerarmos o transporte marítimo e, especialmente, rodoviário que tem que ser efetuado. No entanto, a futura Diretiva dos combustíveis, que obrigará ao apuramento e divulgação de informação sobre a intensidade carbónica dos combustíveis no seu ciclo de vida, pode vir a contribuir para a regulação deste problema (CCE, 2005a).

**Tabela 1 – Tarifas de aquisição de energia elétrica a partir de biomassa florestal para alguns países da EU (DL nº33-A/2007; (Fonte: adaptado de CCE, 2005a)**

País	Tarifa de aquisição (€/Mwh)
Portugal	106-108
Áustria	130-150
Bélgica	100-125
Espanha	118-128
Itália	105-130

O custo de produção da biomassa revela grandes variações. Estas variações devem-se à grande diversidade de fontes (resíduos florestais, talhadia de rotação curta, palha, resíduos de animais, etc.), à diversidade de processos de conversão da transformação (combustão combinada, gaseificação, etc.) e ainda à diversidade de dimensão (a dimensão das instalações de biomassa existentes pode variar de 1 para 200). São necessárias análises mais rigorosas, baseadas em matérias-primas e tecnologias específicas (CCE, 2005b).

A harmonização das tarifas de aquisição na UE é uma medida que tem que ser implementada, embora nada indique que possa solucionar o problema eficazmente. De facto, nivelar as tarifas para um valor alto significa lesar os interesses dos consumidores dos países com menor poder de compra; nivelar as tarifas para um valor baixo prejudicará os produtores de eletricidade e colocará em risco o cumprimento das metas europeias e nacionais.

No setor da silvicultura para a produção de biomassa, não é possível concluir que um sistema é melhor do que outro. A complexidade do setor e as variações regionais indicam que outros fatores desempenham um papel significativo. Regra geral, os incentivos à exploração florestal deverão contribuir para mobilizar mais biomassa florestal não utilizada a favor de todos os utilizadores.

Com a implementação da Tarifa Verde para a energia elétrica produzida com base em biomassa, regulamentada pelo DL nº. 33A/2005, seguido do DL nº. 225/2007 existiu uma equiparação às restantes fontes renováveis. Esta tarifa tem como base, não só os custos económicos provenientes da utilização dessas fontes energéticas, mas também os benefícios ambientais e sociais que estão relacionados com as diversas fontes de energia.

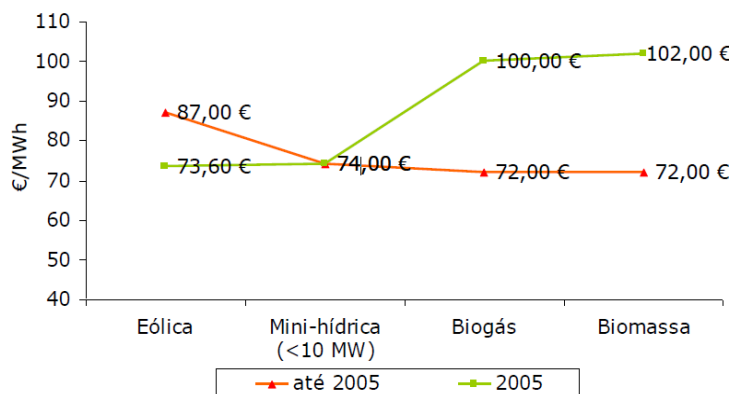


Fig. 16 – Alteração das tarifas para energia elétrica antes e depois do DL nº. 33A/2005, (Fonte: CBE, 2009)

A tarifa média nacional praticada em 2011 para centrais dedicadas foi de 112,9€/MWh, como se verifica no quando abaixo.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	
Outra Cog.	47.6	56.2	66.7	76.6	78.9	91.4	103.0	100.1	121.6	97.8	104.2	118.9	Outra Cog.
Coger. Renov.	43.6	47.5	55.2	79.5	80.9	78.1	81.5	85.4	90.4	89.8	90.5	95.1	Coger. Renov.
Biogás	53.2	55.0	45.0	52.5	69.5	94.9	106.2	105.7	109.0	106.4	107.2	110.5	Biogás
Fotovoltaica	-	-	-	542.7	543.7	542.0	379.7	330.2	338.5	327.4	329.9	342.6	Fotovoltaica
Hídrica PRE	64.3	65.3	75.1	78.0	79.4	81.5	84.3	88.6	88.7	87.5	88.6	91.4	Hídrica PRE
Biomassa	59.5	63.0	66.6	69.3	72.3	102.1	110.8	109.9	111.9	110.1	108.1	112.9	Biomassa
RSU	55.7	65.7	68.5	70.9	72.7	74.7	76.9	78.2	80.9	80.3	80.8	84.0	RSU
Eólica	60.2	61.9	80.1	84.1	87.5	88.8	92.0	94.5	94.7	93.7	91.6	93.5	Eólica

Fig. 17 – Custo Médio Anual por Tecnologia (€/MWh), (Fonte: ERSE, 2012)

## 2.3 Recolha de biomassa

Apesar do grande potencial de localização e da disponibilidade garantida de matéria-prima, em Portugal, a valorização de biomassa ao nível do setor florestal tem encontrado algumas limitações relacionadas com os processos de recolha e transporte. Ainda assim, a mecanização das atividades do setor florestal evoluiu-o muito e tudo aponta para que assim continue. Sendo uma área de negócio promissora, é neste campo que surgem as inovações em equipamentos de recolha, trituração, enfardamento e transporte, ultrapassando assim as dificuldades acima referidas.

As maiores limitações apresentadas pela biomassa florestal, baixa densidade dos resíduos florestais e o seu complicado manuseamento, pela sua heterogeneidade, será selecionado com a fragmentação adequada dos sobrantes através da diminuição do volume, com a compactação ou enfardamento e o estilhaçamento da BFR, garantindo assim o escoamento do produto sem limitações e a sua integração com valor industrial nas unidades consumidoras.

A gestão da cadeia de abastecimento da Biomassa incorpora os processos de:

- ▶ Recolha (Arranque, Pré-corte; Rechega; Enfardamento; etc.)
- ▶ Processamento (Pré-trituração; Trituração; Crivagem; Secagem)
- ▶ Transporte (Fluxo direto; Fluxo indireto)
- ▶ Armazenamento (na mata; em parque)

### 2.3.1 Equipamento

São várias e em permanente evolução as tecnologias usadas para o aproveitamento da biomassa. As decisões são condicionadas por vários fatores: densidade e estado da rede viária, tipo de povoamento, espécie, características físicas do terreno, características dos centros de consumo, eficiência, impacto ambiental que possam causar, etc. (Enes, *et al.*, 2007).

A biomassa é apresentada naturalmente, mas na maioria dos casos, não pode ser usada diretamente como forma de energia devido às suas altas concentrações de humidade e estado de agregação. Para que esse material tenha características viáveis de manipulação torna-se necessário um processamento. O estado agregado da biomassa é alterado, permitindo o seu uso como combustível em processos convencionais. Assim, podemos considerar três operações, para o processamento da biomassa com fins energéticos, trituração, crivagem e enfardamento.

Os **trituradores**, que se destinam a reduzir o tamanho da BFR, em partículas de menores dimensões, assumem um papel importante no processamento da biomassa, permitindo que o manuseamento e transporte sejam realizados de uma forma mais eficazes. Estes podem variar quanto à mobilidade, temos os semimóveis, que podem ser rebocados por tratores ou *forwarders* e processar o material no terreno, e os semifixos são colocados no carregadouro e aí funcionam com mobilidade reduzida (Enes *et al.*, 2007; Rodrigues, 2009 e Netto, 2008).

Existem distintos tipos de trituradores; de facas, que produzem uma estilha com partículas de dimensões regulares entre 5-50 mm. Estes podem ainda ser de disco ou de tambor; trituradores ou destroçadores de martelos, máquinas que partem a biomassa, através de um tambor rotativo, a estilha é mais heterogénia do que a produzida pelos trituradores de facas. As dimensões da estilha são controladas pelo crivo, pela forma e número de martelos, pelo espaço livre entre estes e o crivo, e também pela velocidade do rotor. Pela sua robustez, os martelos, podem processar material com contaminantes.

Após a trituração os contaminantes (inertes), como pedras e areia, têm que ser removidos é a operação crivagem. Só se realiza após a trituração de cepos devido à elevada contaminação deste tipo de material. O funcionamento consiste na introdução de material previamente

triturado num primeiro crivo vibratório que separa a fração grosseira da restante. O material que passa o primeiro crivo cai para um outro crivo mais apertado onde é feita a separação entre as estilhas aceitável e não aceitável. É necessário repetir a operação de trituração/crivagem até obter uma estilha de qualidade aceitável (Enes, *et al.*, 2007 e Netto, 2008).

São utilizadas principalmente duas categorias de **crivos**, os de tambor, que são dispositivos cilíndricos ocos e rotativos, através dos quais avança o material a ser crivado, com o auxílio de roscas de parafuso localizados no interior, e os crivos de estrelas ou discos: nesta crivagem é a rotação paralela de uma série de rolos ou discos equipado com várias estrelas ou discos perpendiculares ao eixo de cada rolo, em rotação. Consegue-se simultaneamente estender e homogeneizar o material, fazendo-os passar perpendicularmente aos eixos dos rolos, e empurrar a fração fina através do espaço entre os rolos para cair num tapete transportador inferior ao crivo mais fino. Estes últimos são os mais utilizados em silvicultura, especialmente nos trabalhos em estradas florestais, pelo seu menor tamanho (Tolosana e Ambrosio, 2008).

O **enfardamento** é realizado por enfardadeiras florestais, estas máquinas reúnem e comprimem a biomassa bruta de origem florestal, para formar fardos de densidade suficiente para permitir poupanças significativas nos custos operacionais, transporte, manuseamento e armazenamento. O enfardamento da biomassa tem como vantagens: os fardos serem manejados com o mesmo equipamento que é utilizado para os troncos; ocuparem menor espaço físico que a biomassa na natureza, o que permite um maior armazenamento e facilidade de transporte; poderem ser armazenados sem perder a sua consistência; armazenamento mais seguro, simples e barato: apresentarem um menor risco de combustão espontânea (Tolosana e Ambrosio, 2008 e Rodrigues, 2009).

Relativamente às enfardadeiras, as dificuldades são principalmente o elevado investimento inicial e o facto de estas não poderem operar em locais com grandes declives.

A rechega é a operação de transporte por caminho florestal do local de abate para o carregadouro, é uma operação que, pode ser feita por um trator agrícola ou florestal, um *forwarder*, ou um camiã. (Enes, *et al.*, 2007; Rodrigues, 2009 e Netto, 2008).

A rechega dos ramos e bicadas deve fazer-se com cuidado para evitar sujar o material lenhoso com terra, provocando uma degradação do material triturado e a contaminação do material lenhoso. Os cepos são recolhidos, apenas para permitir operações posteriores: alteração de ocupação; reflorestações, etc. A matéria lenhosa dos cepos pode ser utilizada na indústria (papelaria, painéis) ou como fonte de energia. As dificuldades de extração estão intimamente ligadas com o preço dos combustíveis, da quantidade de cepos colhidos por hectare, do diâmetro, do tipo de solo e do declive.

A remoção dos cepos é uma operação particularmente complexa, pois implica maquinaria específica para o seu arranque (por exemplo, giratórias) que, depois de triturados os cepos, a estilha precisa de passar por uma operação de crivagem para remover os contaminantes (pedras, areia, etc.) (Netto, 2008).

Os *forwarders* são as máquinas que apresentam maior produtividade e eficácia, embora haja outras possibilidades, embora menos comuns. A utilização de tratores equipados com uma grua hidráulica, ou ainda de máquinas especializadas (*skidders*) para locais com declive acentuado utilizam-se cabos grua para extrair o material (Enes, *et al.*, 2007 e Netto, 2008).

O transporte final pode ser realizado apenas com o camião com grua, ou com porta-contentor. A opção de trator com semirreboque é também muito utilizada, apesar de estar praticamente condicionada ao carregamento em carregadouro, efetuando apenas o transporte final. O semirreboque pode conter caixa em forma de contentor ou caixa normal com fueiros. A caixa em forma de contentor geralmente, não possui grua hidráulica, necessita de uma grua para fazer o carregamento. Este tipo de transporte é usado apenas em transporte de biomassa triturada, efetua a descarga levantando a báscula. Apresentando como vantagens a diminuição do tempo de descarga e o facto de transportar biomassa inteira (Rodrigues, 2009).

O camião com báscula é o equipamento com maior capacidade de transporte, de aproximadamente 20 a 25 toneladas de estilha, de acordo com o seu teor de humidade. É adaptado ao transporte para longas distâncias, circula dificilmente nas estradas florestais. O descarregamento faz-se graças a golpes dados pelo fundo do reboque (fundo movente). A descarga deste tipo de camião demora cerca de 15 minutos.

O camião “*polybenne*” é um camião de tipo porta contentores que contém 10 a 12ton de estilha. Pode operar um reboque com um contentor do mesmo tamanho. Este camião é adaptado às estradas florestais. Existem dois tipos de contentor: o contentor fixo no camião que é esvaziado por ação da báscula lateral ou o contentor móvel que é depositado a nível do destroçador, enquanto o camião faz uma rotação com um outro contentor.

Em matéria de produtividade de transportes, são fatores de relevo: o tipo de veículo, comprado ou alugado, a distância (km), a capacidade de carga ( $m^3$ /viagem, ton/viagem, MWh/viagem), o tempo de carga/descarga e o estado das infraestruturas (que afetam a velocidade km/h).

Considerando a localização típica das fontes de biomassa (indústrias madeireiras ou florestas), os meios de transporte utilizados são normalmente os rodoviários, já que serão os únicos modos viáveis para a recolha e transporte da biomassa. O transporte marítimo ou ferroviário apenas é considerado quando a distância de transporte de biomassa é longa (Nunes, 2012 e Netto, 2008).



Sendo esta a última operação antes de entregar a biomassa à porta da unidade transformadora, é importante considerar a humidade e os contaminantes do produto transportado. Em relação à humidade, existe a vantagem de deixar a biomassa secar no carregadouro para obter um melhor preço no momento de venda. Geralmente, a biomassa é deixada a secar naturalmente, se as condições meteorológicas o permitirem, sendo posteriormente triturada e transportada. Outra possibilidade consiste em deixar a biomassa previamente triturada a secar, embora possam existir problemas de fermentação na pilha devido ao aquecimento excessivo. O segundo aspeto a considerar prende-se com a quantidade de contaminantes que é transportada e que consiste, principalmente, em pedras e areia. O problema é particularmente importante na comercialização de estilha de cepos, embora também seja contaminada nas operações de carga e descarga, sendo preferível fazer o carregamento da estilha diretamente do triturador para o camião, se tal for possível. A questão dos contaminantes é relevante porque as unidades transformadoras relacionam o preço oferecido com o grau de contaminação, pois os inertes causam problemas operacionais nas caldeiras.

O transporte da biomassa, especialmente no caso de rama e cepos não triturados, é particularmente desvantajoso quando comparado com o transporte de um líquido, seja por camião, navio ou conduta. A evolução para combustíveis de maior densidade energética e na forma líquida representa, assim, uma alteração natural das economias na procura de eficiência. Por outro lado, a distribuição dispersa da biomassa torna o aproveitamento deste recurso muito oneroso em comparação com algumas das suas alternativas, nas quais o recurso está concentrado em jazidas. São estas as principais causas que fazem da biomassa uma fonte de energia mais cara relativamente às suas alternativas e que transformaram a sua importância de uma situação quase exclusiva para cerca de 3,5% da produção de energia primária nos países da OCDE, em 2005 (IEA, 2011a).



Fig. 18 – Esquema representativo do volume ocupado pelos diferentes materiais derivados da floresta (Fonte: adaptado de Silva, 2009)

### 2.3.2 Logística

Geralmente, a exploração florestal tem por objetivo a recolha de matéria lenhosa para fins não energéticos. As técnicas habituais de recolha não preveem o aproveitamento de cepos, ramos ou bicadas. As quantidades recuperáveis são em função dos povoamentos explorados (Enes *et al.*, 2007).

Para abastecer uma unidade fabril o sistema de exploração de biomassa, tem duas componentes fundamentais: a produção da BFR e a logística do abastecimento.

A organização das operações florestais depende de muitos fatores. Geográficos da zona onde se recolhe o material e fatores inerentes ao processo e equipamentos. Os fatores geográficos são, o declive do terreno, a distância de recarga e transporte final. Os fatores inerentes ao processo são tipos de equipamentos utilizados. Outros fatores são o tipo de sobranço, a sua humidade, dimensão e a quantidade. Realce a ter em conta, a dimensão da propriedade, para propriedades de menor dimensão é preciso acautelar a seleção do equipamento devido aos custos.

Podem-se descrever três métodos de trabalho que normalmente são tomados para a exploração da BFR, representados esquematicamente na figura abaixo apresentada (Rodrigues, 2009).

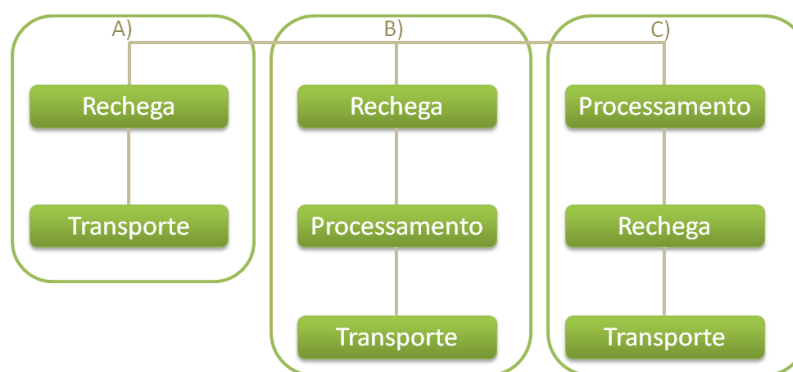


Fig. 19 – Métodos observados na exploração de biomassa

O **método A**, esquematizado nas figuras abaixo, consiste na exploração da biomassa inteira, ou seja, sem que esta tenha sido sujeita a qualquer tipo de processamento, após o abate da árvore e a desrama. Este método é o mais direto, sofrendo apenas a BFR duas operações até chegar ao cliente final. Estas operações são o transporte primário e o transporte final. Estes transportes podem ser efetuados com os mesmos equipamentos que efetuaram a recarga e transporte final da madeira. Assim, com este método, os equipamentos para a exploração da madeira são utilizados na BFR, diminuindo os custos fixos da exploração. Apenas o tipo de

caixa usado no alojamento da biomassa pode ser diferente, ou seja, podem ser utilizados fueiros (mesmos da madeira) ou uma caixa contentor, pois permite o transporte em vias de circulação rodoviária. No caso do aproveitamento dos cepos o transporte deverá ocorrer em separado, devido à geometria dos cepos e à quantidade mais elevada de contaminantes (inertes).

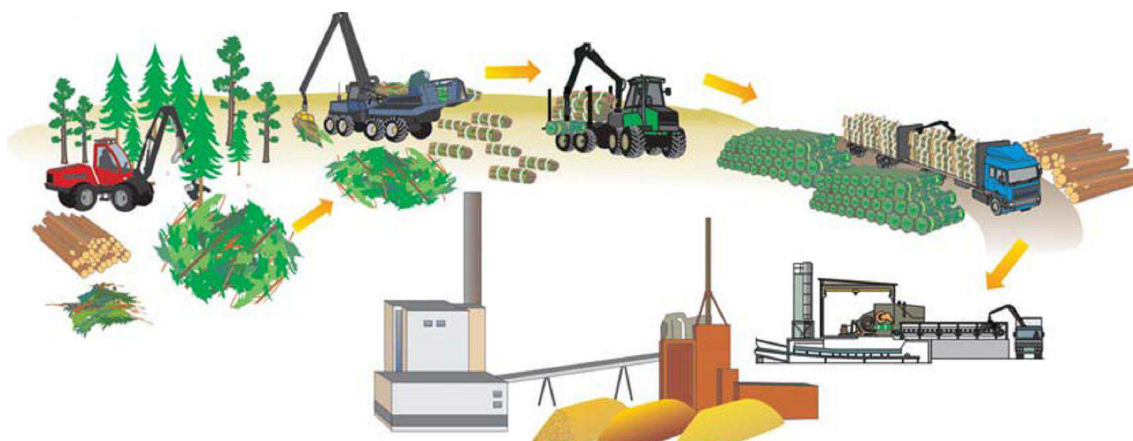


Fig. 20 – Sistema de recolha de biomassa florestal baseado no estilhador na unidade transformadora (Fonte: Hakkila, 2004)



Fig. 21 – Sistema de recolha de biomassa florestal (raízes e cepos) baseado no estilhador na unidade transformadora (Fonte: Acila, 2004)

Desde janeiro de 2010 que nos centros fabris de Cacia e Setúbal existe o sistema de trituração fixa elétrica, que permitiu a intensificação do uso do **método A** com uma redução substancial dos custos. O triturador funciona em linha com a alimentação ao silo. Tal como as outras unidades de biomassa conhecidas, Cacia e Setúbal têm áreas para armazenamento de biomassas próximas dos silos/fossos de alimentação.

O **método B** representado na Figura 22 abrange três etapas de exploração da biomassa; transporte primário, processamento e transporte final. Este método caracteriza-se pelo processamento (diminuição do tamanho da biomassa) num parque local, também designado por carregadouro (Rodrigues, 2009).

A recolha é efetuada com a BFR no estado inteiro para o carregadouro, onde esta sofre a trituração ou destroçamento que altera o seu estado físico, logo implica a alteração do tipo de caixa usada no transporte final. Se existir área de parque suficiente e se o equipamento de trituração permitir a colocação da biomassa diretamente no veículo de transporte final, o número de operações utilizadas no manuseamento da biomassa reduz. Caso contrário, será necessária mais uma operação de carga da biomassa triturada. Neste método existe bastante dependência entre as máquinas, dado que tanto o triturador como o camião podem ter tempos de espera significativos. Após o apuramento de uma quantidade suficientemente grande no referido parque, seguem-se ainda as operações de alimentação do triturador, carga da biomassa triturada e transporte final.

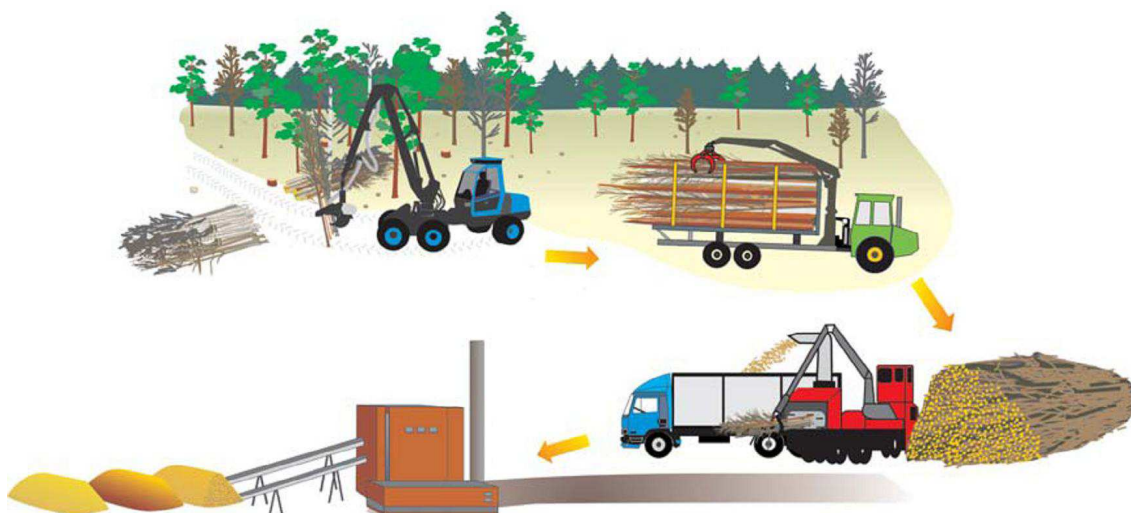


Fig. 22 – Sistema de recolha de biomassa florestal baseado no estilhaçamento efetuado num ponto de recolha. Desbastes de árvores de pequeno porte, carregamento num camião, estilhador e transporte da estilha (Fonte: Hakkila, 2004)

O **método C** de exploração da biomassa consiste na transformação ou processamento da biomassa no próprio terreno, antes de ser efetuada a recolha para um carregadouro, e o respetivo transporte final. Esta etapa pode ser efetuada de duas formas distintas. Processo semelhante ao utilizado no método B, em que a biomassa é triturada, ou pode ser utilizado um processo de enfardamento. Se o processo utilizado for o enfardamento, a recolha e transporte final da biomassa poderá ser efetuada com os mesmos equipamentos utilizados na exploração da madeira, tal como no método A. Se o processo utilizado for a trituração, não é possível utilizar qualquer equipamento utilizado na exploração da madeira.

Estes processos, enfardamento e trituração no terreno, são os que exigem maior investimento embora possam tornar-se mais rentáveis a longo prazo. A maior desvantagem destes equipamentos é o elevado custo inicial de aquisição. Contudo, a capacidade de produção destes equipamentos é elevada e permite a redução das operações florestais de modo a rentabilizar o investimento.

## 2.4 Processos do aproveitamento de resíduos

Existem várias tecnologias de conversão da energia química da biomassa pelo calor, energia elétrica e mesmo *biofuel*, como produtos finais. Sendo que os principais meios de transformação da biomassa em energia são métodos termoquímicos e biológicos, conforme imagem infra.

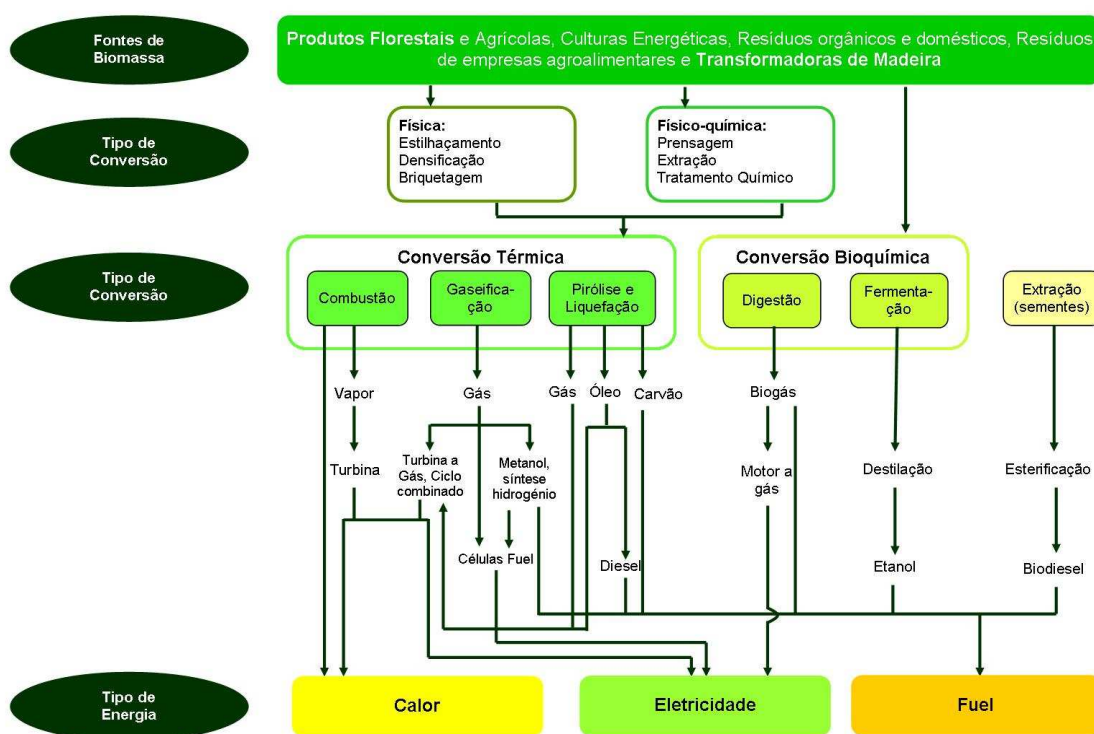


Fig. 23 – Principais formas de conversão de biomassa para energia secundária (Fonte: adaptado de Turkenburg, 2000 e Faaij, 2006)

A **conversão termoquímica** usa o calor como fonte de transformação e está mais vocacionada para biomassa com baixo teor de humidade. Existem 3 tipos de processos, dependendo da quantidade de oxigénio presente na transformação:

- **Combustão** – altas temperaturas com excesso de oxigénio;
- **Gaseificação** – temperaturas muito altas, na presença de quantidades limitadas de oxigénio, de modo a alcançar uma combustão completa;

- ▶ **Pirólise** – altas temperaturas sem presença de oxigénio.

Na **conversão biológica**, vários tipos de microrganismos degradam as moléculas em compostos mais simples de alta densidade energética, recorrendo-se de biomassa com elevados teores de humidade:

- ▶ **Fermentação** – método semelhante ao usado na produção vinícola, produzindo etanol;
- ▶ **Digestão anaeróbia** – usado em explorações animais de onde se pode extrair metano.

Sendo o contexto deste trabalho restrito à biomassa florestal, e dado apenas os três processos termoquímicos de conversão que estão ou estarão disponíveis num futuro próximo para a utilização à escala industrial, serão estes os resumidamente descritos de seguida. (Netto, 2008; Andrade e Lopes, 2009 e INFORSE, 2012).

O produto imediato de alguns destes processos de conversão é o calor - normalmente utilizado no local de produção ou a curta distância, para fins de aquecimento, processamento químico ou para gerar vapor para a produção de energia. Para outros processos o produto é um combustível sólido, líquido ou gasoso: combustível de carvão vegetal, líquido, como o etanol como um substituto ou um aditivo de gasolina, o gás para venda ou para a geração de energia usando turbinas a vapor ou gás (INFORSE, 2012).

#### 2.4.1 Combustão

A tecnologia de combustão direta é a maneira mais óbvia de extrair energia da biomassa, pois é bem compreendida, simples e comercialmente disponível. Como exemplo comum, temos o aquecimento doméstico através do uso de madeira em lareiras ou em fornos domésticos.

Estes sistemas de combustão direta existem numa ampla variedade de formas e tamanhos queimando praticamente todos os tipos de combustíveis, desde fardos de palha a troncos de árvores. O problema deste método prende-se com a sua baixa eficiência energética. Independentemente disso, para que a queima seja eficaz, três fatores determinam a eficiência do processo: temperaturas suficientemente elevadas para que os processos ocorram mais rapidamente, quantidades de ar suficiente, e tempo necessário para a combustão completa (INFORSE, 2012).

Desta forma, a combustão consiste na oxidação total da matéria orgânica da biomassa, a altas temperaturas (800-1000°C, dependendo da humidade), utilizando o ar atmosférico em excesso, como agente oxidante, e libertando calor, CO<sub>2</sub>, vapor de água e cinzas.

A conversão de biomassa em calor tem uma eficiência de 85-90%, enquanto a eficiência de produção de energia elétrica é de 17-25%. Dado que a eficiência elétrica das centrais é muito baixa, quando comparada com a produção de energia a partir de outros combustíveis, a cogeração é uma oportunidade que consiste no aproveitamento do calor residual para o aquecimento das próprias instalações da central ou, criando uma rede de distribuição, das



habitações que possam estar situadas nas redondezas. Quanto a soluções exclusivas para aquecimento, os equipamentos atuais permitem ter eficiências entre 70-90% e uma redução muito significativa das emissões, quando comparados com as lareiras tradicionais (Faaij, 2006).

### Co combustão

A biomassa pode ser queimada conjuntamente em centrais alimentadas a carvão para obter energia elétrica, num processo designado por co combustão. Este processo tem os benefícios de reduzir os custos de investimento por unidade de energia produzida, por se estar a utilizar uma instalação já existente, ter eficiências de produção de energia elétrica superiores às centrais dedicadas e permitir às centrais a carvão eliminar as suas emissões de CO<sub>2</sub>, e reduzir as de NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub>. Os grandes entraves ao desenvolvimento da co combustão são o elevado investimento inicial, o aumento dos custos de operação e a dificuldade na logística do abastecimento por se tratar de grandes quantidades de biomassa, quer se trate de uma substituição de 5% ou de 15% (Netto, 2008).

A conversão de biomassa em eletricidade pode ser conseguida de forma mais eficiente numa maior escala, através da utilização da combustão conjunta, que envolve a queima de uma proporção de biomassa, conjuntamente com carvão em centrais termoelétricas. Uma vez que a maioria das termoelétricas a carvão têm uma eficiência muito maior do que as centrais dedicadas de biomassa, a combustão conjunta pode tirar partido desta aliança para alcançar uma eficiência de 35 a 40% (Andrade e Lopes, 2009).

A co-incineração à partida apresenta algumas vantagens: a eficiência elétrica global é elevada, dadas as economias de escala para uma central existente (cerca de 40%); os custos de investimento são baixos quando usados combustíveis de alta qualidade; e reduzem-se emissões diretas devido à substituição imediata do carvão (Faaij, 2006).

#### 2.4.2 Gaseificação

A gaseificação é um processo de combustão incompleta, através da queima da biomassa com quantidades de ar inferiores às do equilíbrio estequiométrico. O processo produz um gás combustível constituído por uma mistura de metano, hidrogénio, monóxido, dióxido de carbono, e vapor de água, sendo que o poder calorífico do gás varia entre 4-40 MJ/m<sup>3</sup>, conforme o agente oxidante. O processo, que é o método mais recente para gerar eletricidade a partir da biomassa, está ainda numa fase pré-comercial, mas apresenta vantagens em relação à combustão convencional, nomeadamente no aumento da eficiência de produção de energia elétrica (que pode ser superior a 40%), na facilidade de transporte do gás e flexibilidade de usos alternativos, como em motores de combustão interna e turbinas a gás. Em vez de simplesmente queimar combustível, a gaseificação capta cerca de 65-70% da energia do combustível sólido, convertendo-o primeiro em gases combustíveis. Este gás é então queimado, da mesma forma que o gás natural, para gerar eletricidade, abastecer veículos na

indústria, ou simplesmente convertido em combustíveis sintéticos (Netto, 2008; INFORSE, 2012 e Andrade e Lopes, 2009).

Durante a gaseificação a biomassa processada é então convertida, a temperaturas elevadas (superiores a 600°C), numa nova forma de energia sob a forma de um gás. Um meio de gaseificação contendo oxigénio (ar ou O<sub>2</sub>) é aplicada à biomassa aquecida. As substâncias orgânicas são depois quebradas em compostos combustíveis, e o carbono residual sofre uma combustão parcial para monóxido de carbono. A gaseificação acontece pois numa forma estequiométrica de combustão. A quantidade estequiométrica do agente de oxidação é a quantidade mínima calculada para ser aplicado ao combustível para a combustão ser completa; a quantidade do agente oxidante é indicada através da razão combustível / ar. O calor necessário para o processo é geralmente fornecido através de combustão parcial da biomassa utilizada (GSES e Ecofys, 2005 e Andrade e Lopes, 2009).

Uma característica fundamental da gaseificação é a separação física e cronológica de produção e de utilização do produto processado, gás. Aqui reside a diferença entre combustão e queima, pois quando o gás produzido é aplicado diretamente a uma câmara de combustão para produzir calor, não há diferença termodinâmica entre a queima de madeira e a sua gaseificação. Isto é, a gaseificação é um subprocesso de combustão, em que o gás é gerado por combustão parcial. O gás combustível de baixo teor calórico produzido, com um valor calorífico médio de 5 MJ/m<sup>3</sup>, pode ser usado nos queimadores para fornecer calor ou em motores de combustão ou turbinas de gás para a geração de eletricidade ou de calor e eletricidade (GSES e Ecofys, 2005).

A gaseificação é também uma via para as atuais centrais a carvão, dado que evitam a necessidade de criar mais linhas de alimentação de combustível sólido e permitem um melhor controlo do processo de combustão, existindo já algumas situações bem-sucedidas.

Uma alternativa interessante para o gás combustível produzido pela gaseificação de biomassa é a sua utilização direta (ou nova) em ciclos combinados a gás natural. Desta forma, são utilizadas as economias de escala, resultando em baixos custos e elevados níveis de eficácia global, combinado com um fornecimento seguro de combustível, pois é possível variar a proporção de gás combustível e gás natural. Até o momento, esta opção não foi comprovada, mas têm sido desenvolvidos estudos que podem ser de grande importância a curto prazo, dado que a co combustão em centrais a carvão já existentes, está a ser cada vez mais utilizada (Faaij, 2006).



### Processo de Pirólise e Liquefação

A forma mais simples e mais antiga de processamento de um combustível é a pirólise como exemplo temos a produção de carvão vegetal, por pirólise da madeira. A convencional, é considerada a tecnologia mais atraente o material original é aquecido, com a ausência de ar a 300 - 500°C até que a matéria volátil seja expulsa. O resíduo “*char*” produzido - mais conhecido como carvão – é um combustível que tem cerca do dobro da densidade energética do original e queima a uma temperatura muito superior (INFORSE, 2012).

Com técnicas mais sofisticadas de pirólise, os voláteis produzidos podem ser recolhidos, e com uma escolha adequada da temperatura, é possível controlar a sua composição, podendo o produto líquido ter potencial como óleo combustível, após tratamento. A pirólise rápida pode competir com os métodos convencionais de gaseificação, mas, para ser comercializado, tem ainda de ser mais desenvolvido (INFORSE, 2012; Faaij, 2006 e Netto, 2008).

A pirólise pode ainda ser efetuada na presença de uma pequena quantidade de oxigénio ('gaseificação'), água ('gaseificação vapor') ou hidrogénio ('hidrogenação'). Um dos produtos mais úteis é o metano, que é um combustível adequado para a geração de eletricidade utilizando turbinas de gás de alta eficiência (INFORSE, 2012).

Já a liquefação direta da biomassa, produz combustíveis líquidos através da reação da biomassa triturada com um meio líquido rico em monóxido de carbono. Esta reação ocorre a altas pressões, temperaturas moderadas e na presença de um catalisador alcalino. O combustível líquido obtido depende da temperatura, pressão e o tempo que ocorre a reação (Andrade e Lopes, 2009).

Os projetos de investimento do Grupo Portucel (Grupo Portucel, 2012b), que contribuíram para a redução de emissões de CO<sub>2</sub> no Grupo, foram a instalação de novas caldeiras de recuperação em Cacia e Figueira da Foz, a reconversão das caldeiras de biomassa para leito fluidizado nos três complexos industriais e a modificação do forno da cal no Complexo da Figueira da Foz. As duas centrais termoelétricas a biomassa de Cacia e de Setúbal permitiram consolidar a posição do Grupo no domínio da produção nacional de energias renováveis na vertente biomassa. O grande benefício em termos de redução de emissões evitadas de CO<sub>2</sub> terá um impacto no balanço destas emissões a nível nacional e na redução da dependência de combustíveis fósseis importados, sendo desta forma um contributo do Grupo para um desígnio nacional. Estima-se que estas duas centrais poderão evitar emissões de CO<sub>2</sub> superiores a 70 mil toneladas em termos do balanço nacional.

### 3. QUANTIFICAÇÃO ENERGÉTICA DOS SOBRANTES DE EUCALIPTO

Em 2008, o consumo em Portugal de BFR para aproveitamento energético era 1,4Mton e estima-se que com a atual capacidade instalada se esteja perto do limite da capacidade de mobilização de BFR. Segundo a APREN (2010) a oferta de biomassa florestal em Portugal encontra-se entre 1,75 e 2,2Mton.

**Tabela 2 – Evolução histórica da energia elétrica produzida através de renováveis (GWh) em Portugal Continental (Fonte: DGEG, 2012b)**

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	jan. 2012*
<b>Hídrica Total</b>	10 053	5 000	11 323	10 351	7 102	8 717	16 249	11 827	10 022
<b>Grande Hídrica (&gt;30MW)</b>	9 065	4 454	9 897	9 406	6 190	7 547	14 306	10 495	8 914
em bombagem	278	387	465	357	498	725	399	575	611
<b>PCH (&gt;10 e &lt;=30 MW)</b>	487	265	702	504	478	618	1 045	646	523
<b>PCH (&lt;= 10 MW)</b>	501	281	724	441	434	552	898	686	585
<b>Eólica</b>	787	1 741	2 892	4 007	5 720	7 506	9 078	9 003	8 735
<b>Biomassa (c/ cogeração)</b>	1 206	1 286	1 302	1 361	1 381	1 390	1 579	1 669	1 646
<b>Biomassa (s/ cogeração)</b>	52	64	78	149	146	311	612	688	688
<b>Resíduos Sólidos Urbanos</b>	475	545	532	498	441	458	455	486	479
<b>Biogás</b>	14	31	33	55	67	80	97	152	159
<b>Fotovoltaica</b>	3	4	4	24	41	160	213	265	275
microprodução							75	82	
<b>Total</b>	12 590	8 671	16 164	16 445	14 898	18 622	28 283	24 089	22 003
<b>Hídrica Total Corrigida (Diretiva 2009/28/CE)</b>	11 120	10 995	10 761	11 129	10 931	10 644	11 154	10 866	10 595
<b>Eólica Total Corrigida (Diretiva 2009/28/CE)</b>	865	1 712	2 908	4 221	5 639	7 000	8 204	9 091	9 518
<b>Total Corrigido</b>	13 734	14 637	15 618	17 436	18 647	20 043	22 315	23 216	23 360
<b>Produção Bruta + Saldo Imp. (GWh)</b>	50 017	51 729	52 749	52 952	53 558	53 134	54 865	53 109	52 861
<b>% de renováveis (Real)</b>	25,2%	16,8%	30,6%	31,1%	27,8%	35,0%	51,6%	45,4%	41,6%
<b>% de renováveis (Diretiva)</b>	27,5%	28,3%	29,6%	32,9%	34,8%	37,7%	40,7%	43,7%	44,2%

\* Ano Móvel de fevereiro de 2011 a janeiro de 2012. A Produção Bruta + Saldo Importador é provisório para 2011 e 2012.

**Tabela 3 – Evolução histórica da potência total instalada em renováveis (MW) em Portugal Continental (Fonte: DGEG, 2012b)**

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	jan. 2012*	TCMA
<b>Hídrica Total</b>	4 561	4 752	4 784	4 787	4 792	4 821	4 837	5 280	5 280	2,1%
<b>Grande Hídrica (&gt;30MW)</b>	4 043	4 234	4 234	4 234	4 234	4 234	4 234	4 662	4 662	2,1%
<b>PCH (&gt;10 e &lt;=30 MW)</b>	251	232	263	263	263	263	263	275	275	1,3%
<b>PCH (&lt;= 10 MW)</b>	267	286	287	290	295	324	340	344	344	3,7%
<b>Eólica</b>	537	1 047	1 681	2 446	3 037	3 519	3 863	4 301	4 301	34,6%
offshore								2,0	2,0	
microprodução							0,6	0,6	0,6	
<b>Biomassa (c/ cogeração)</b>	357	357	357	357	357	359	360	367	367	0,4%
<b>Biomassa (s/ cogeração)</b>	12	12	24	24	24	101	106	105	105	36,3%
<b>Resíduos Sólidos Urbanos</b>	88	88	88	88	88	88	88	88	88	0,0%
<b>Biogás</b>	7,0	8,2	8,2	12,4	12,4	20,0	28,0	47,4	47,4	31,4%
<b>Fotovoltaica</b>	2,7	2,9	3,4	14,5	58,5	104,1	125,8	149,3	155,3	77,4%
microprodução							32,4	58,8	64,8	
<b>Total</b>	5 564	6 267	6 945	7 729	8 369	9 011	9 407	10 338	10 344	9,3%

TCMA - Taxa de Crescimento Média Anual entre 2004 e 2011

Este trabalho incide unicamente nas centrais termoelétricas a *Biomassa* de Cacia e de Setúbal, que têm uma potência instalada de 12,5MW.

Tabela 4 – Capacidade instalada do Grupo Portucel por centro fabril, (Fonte: Carvalho, 2012)

Informação de Nov10

POTÊNCIA INSTALADA E POTÊNCIA PRODUÇÃO EM COGERAÇÃO + CTBs		
COGERAÇÃO - Produção das turbinas limitada pelas necessidades de vapor do processo		
	Potência Instalada (design) MW	Potência média Produção bruta (*) MW
ENERPULP - Lavos (Fig. Foz) SOPORCEL	95	52
SOPORGEN (parceria com EDP - 82%)	67	52
ENERPULP - SETÚBAL PORTUCEL Setúbal - Pasta	54	45
PSCE (ex. SPCG) PORTUCEL Setúbal - Papel	11.6	9
SPCG ATF Setúbal Papel	81	73
ENERPULP - CTB <b>Setúbal</b> Central Termoelectrica a Biomassa de Setúbal	12.5	12.5
ENERPULP - Cacia PORTUCEL Cacia - Pasta	35.2	22
ENERPULP - CTB <b>Cacia</b> Central Termoelectrica a Biomassa de Cacia	12.5	12.5
<b>TOTAL Grupo PS (inclui Soporgen)</b>	<b>369</b>	<b>278</b>
<b>gPS SEM Soporgen</b>	<b>302</b>	<b>226</b>



Fig. 24 - Central termoelectrica a biomassa florestal de Cacia, (Fonte: Carvalho, 2012)

### 3.1 Quantificação dos recursos disponíveis

O valor energético da biomassa existente no planeta onde crescem cerca de 200 biliões de toneladas é equivalente ao volume de energia de todas as reservas das fontes de energia

fóssil, onde a capacidade de energia é de 30000 Hexajoule. Todos os anos, através da fotossíntese, crescem 15 biliões de toneladas biomassas, o que representa um potencial energético de 2250 Hexajoule. Infelizmente não podemos usar este potencial diretamente para energia, pois está espalhado por toda a terra. Apenas 150 Hexajoule fazem parte do potencial técnico (GSES & Ecofys, 2005).

No IFN5, a biomassa total de eucalipto incluindo a biomassa aérea e subterrânea das árvores em povoamentos puros<sup>1</sup>, mistos<sup>2</sup>, jovens puros/dominantes e dispersos é de 36252 kton (Anexo 4). Considerando unicamente povoamentos puros e dominantes o valor desce para 29191kton (DNGF, 2010).

É importante referir que a BFR disponível efetiva é substancialmente inferior à BFR realmente existente. Considera-se “*existência real*” a quantidade de biomassa florestal que pode ser gerada nas florestas, isto é, a estimativa de produção potencial de um determinado território florestal, não considera as restrições ecológicas silvícolas, ambientais e económicas. Por outro lado, a “*disponibilidade*” é a biomassa potencial, uma vez excluídas as frações que não se podem aproveitar, como por exemplo os pequenos ramos e folhas acumulados na floresta. A “*explorabilidade*” está por sua vez ligada a uma série de fatores que condicionam a retirada da BFR, tais como, a geomorfologia do terreno (declives e altitude), o acesso às áreas florestais (densidade de rede viária), elevados custos de extração, restrições de ordem legal (Domínio Público Hídrico, Áreas Protegidas - Rede Natura 2000, áreas com risco de erosão - REN, ...), entre outros.

Em três estudos realizados pela UTAD para a região Norte de Portugal, concluiu que a biomassa para ser utilizada variava de 43 a 65% da total produzida (DNFF, 2010). Segundo a *Inforse*, (2012) a BFR pode ser inferior às estimativas, devido aos fatores anteriormente descritos que conduzem a uma redução do recurso em 50%, mesmo nas florestas comerciais. Outro estudo, refere que a biomassa florestal considerada como não disponível é cerca de 43% da produção (CBE, 2008b).

Deste modo, a estimativa das existências e da disponibilidade de biomassa explorável requer uma série de dados que nem sempre existem ou estão disponíveis. Apesar dos estudos dos últimos anos, a falta de dados acerca da quantidade de biomassa existente e explorável torna necessário a realização de estudos mais detalhados e precisos (Enes, *et al.*, 2007).

Presentemente, existem vários estudos efetuados por diversas entidades que tentam estimar a quantidade de biomassa florestal disponível para utilização energética. No entanto, um dos

---

<sup>1</sup> Povoamento puro, povoamento composto por uma ou mais espécies de árvores florestais em que uma delas ocupa mais de 75% do coberto total (DNGF, 2010).

<sup>2</sup> Povoamento misto, povoamento florestal em que estão presentes duas ou mais espécies de árvores, nenhuma delas ocupa mais de 75% do coberto total (DNGF, 2010).

principais estrangulamentos decorre da inexistência de informação atual e de algum conhecimento científico que possibilite quantificar as disponibilidades de biomassa para fins energéticos, por tipo de resíduos.

Segundo Carvalho (2010b), a oferta potencial nacional de biomassa florestal deve situar-se entre 1,5 a 2,5Mton/ano (0,38 MTep – 0,63 MTep).

A Tabela 5 sintetiza as quantidades estimadas de BFR, apuradas por diferentes entidades, indicando a disponível efetiva deste recurso em 106 ton/ano.

**Tabela 5 – Estudos de potencial de biomassa florestal em Portugal (Mton/ano)**

<b>Quantidade disponível estimada de BFR (10<sup>6</sup> t/ano)</b>	<b>Fonte Bibliográfica</b>
1,00	Adene/INETI (2001)
1,75	Dias (2002)
1,10 (Eucalipto)	ISA (2006)
1,5-2,5	Grupo Portucel - Carvalho (2010b)
2,00	APREN (2010)

Segundo Adene e INETI (2001) pensa-se que os valores reais de disponibilidade efetiva são superiores, aos valores obtidos com base na informação disponível.

A oferta de BFR em Portugal manteve-se estacionária no que se estima ser em cerca de 2Mton/ano, este valor corresponde ao potencial utilizável (APREN, 2010).

A utilização dos cepos de eucalipto tem que ter em atenção especial os inertes (as areias, terras e pedras). A introdução na caldeira destes materiais pode dar lugar a sérios problemas de funcionamento e rendimento do processo associados, entre outros a fenómenos de fusão, podendo mesmo obrigar à paragem frequente da central. Este tipo de biomassa requer um pré-tratamento que permita a sua adequada limpeza - crivagem fina, com os custos implícitos deste processo. Desta forma conclui-se mais uma vez, que as disponibilidades de biomassa provenientes de resíduos florestais serão, à partida, insuficientes para as necessidades do País, o que poderá pôr em causa a consecução dos objetivos iniciais. Desta forma haverá necessidade de promover medidas que aumentem a disponibilidade do recurso. Sem concretizar o aumento da oferta de biomassa, poder-se-á verificar uma competição insustentável pelos recursos florestais com a indústria já instalada nomeadamente a das serrações, dos aglomerados, da pasta e do papel, etc. Uma vez que a biomassa florestal residual, na forma de ramos, bicadas ou cepos, não tem qualquer aproveitamento a não ser para fins energéticos, não se pode falar de competição para essa fração em particular.

Teremos que nos concentrar, nas fontes alternativas de biomassa florestal residual, que podem ser solução para complementar os níveis de fornecimento do mercado, incentivando

financeiramente as operações de recolha e melhorando a capacidade tecnológica. Implementar incentivos para as tecnologias de gestão e exploração florestal integrando a recolha de biomassa florestal residual (ex: generalizando a utilização das enfardadeiras em operações de exploração) (APREN, 2010).

A disponibilidade de BFR está intimamente ligada à atividade das indústrias da Fileira Florestal, sendo estas a garantia da sustentabilidade da exploração florestal. A fonte BFR será renovável enquanto se mantiver o balanço do recurso a longo prazo (Rodrigues, 2012).

O principal fator de crescimento da disponibilidade de biomassa florestal é o aumento da produtividade florestal. Cerca de 20% da exploração florestal do pinho e eucalipto, bicadas e casca, pode ser encaminhada para energia. A gestão florestal assume um papel de relevo, por isso não pode ser ignorada, devendo ser fortemente incentivada e apoiada pelos instrumentos existentes, tendo em conta que, para estes se tornarem consequentes deverão ter como principal cuidado a sua simplificação e operacionalização (DNFF, 2010).

A redução da disponibilidade face à produção da biomassa florestal demonstra como as restrições impostas pelo método de cálculo da disponibilidade, intervêm no sentido de garantir a sustentabilidade do recurso florestal e prevenir eventuais situações de desequilíbrio ou degradação ambiental e condições físicas do terreno (CBE, 2008b).

Devido às estatísticas florestais serem incompletas (dimensão) ou desatualizadas (2005-2006), podem ser feitas estimativas simplificadas. Segundo a experiência Dinamarquesa, se apenas estão disponíveis valores para a madeira comercial, os resíduos de madeira podem ser estimados como uma fração da madeira comercial. Sobrantes com menos de 7 cm de diâmetro são equivalentes a 25% da produção de madeira incluindo a casca ou 31% da madeira excluindo a casca (Inforse, 2012).

Se apenas a área de floresta é conhecida, uma primeira estimativa pode ser feita com base na área de floresta comercial. Uma estimativa da Alemanha dá um crescimento anual de florestas de 10-15 toneladas/ha, com um teor de energia de 150-225GJ/ha (42-63MWh/ha). Se 3/4 da produção é utilizado para a madeira, os resíduos disponíveis têm um teor de energia de 40-60 GJ/ha (11-16MWh/ha). Uma estimativa dos resíduos florestais da ilha Dinamarquesa de Bornholm utiliza resíduos menores do que 7 cm de diâmetro ou 1,7ton/ha, o equivalente a 18GJ/ha (5 MWh/ha), com humidade a 40% ou 25 GJ/ha (7 MWh/ha), com humidade de 20%. Estas estimativas não levam em conta os fatores importantes de clima e solo para a produção real de madeira (Inforse, 2012).

Um dos fatores mais importantes na avaliação da disponibilidade de biomassa para valorização energética refere-se à escala da operação, uma vez que a logística necessária para a sua recolha e pré-tratamento é energética e economicamente dispendiosa, com consequentes

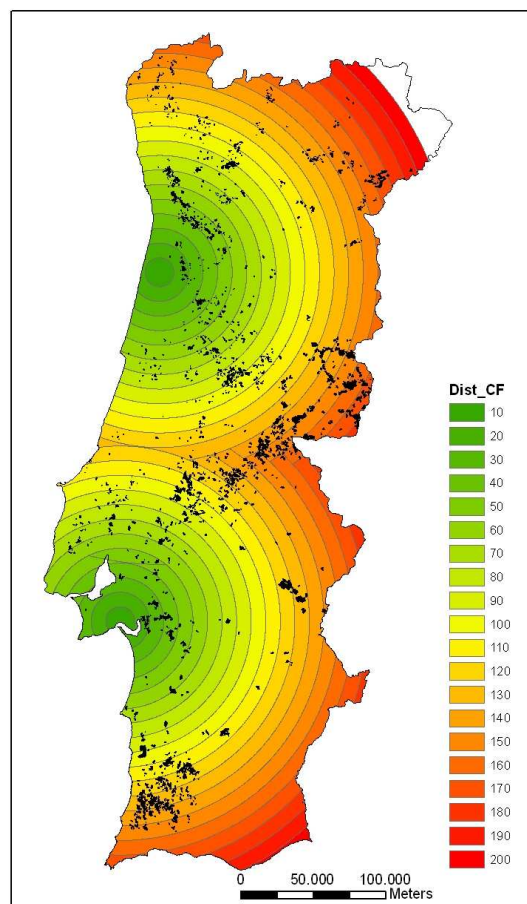
reflexos nos respetivos balanços operacionais e, por inerência, na viabilidade de todo o processo.

Como já foi referido a principal utilização do eucalipto é a produção de madeira para pasta celulósica, sendo o aproveitamento em diâmetro até 7cm para a madeira processada com casca e até 5cm em madeira sem casca. O restante material é considerado como BFR e poderá ser utilizado para outros fins.

No final de 2011, o Grupo Portucel tinha sob gestão cerca de 120 mil hectares de floresta, dos quais aproximadamente 101 mil hectares eram de eucalipto, segmentados em 1 415 unidades de gestão distribuídas por 158 concelhos do país. A distribuição geográfica das áreas de eucalipto encontram-se representadas no mapa abaixo.

No que diz respeito à utilização de biomassa florestal residual, é importante manter a biodiversidade, assegurando a sustentabilidade dos recursos existentes nas florestas. Estes recursos são renováveis, desde que o seu aproveitamento garanta a sua regeneração. Não devem ser extraídas espécies vegetais protegidas, raras ou que devido à sua escassez devam conservar-se para favorecer a biodiversidade, evitando comprometer habitats e fauna silvestres. Não extrair a biomassa florestal em zonas de elevado declive e/ou insuficiente profundidade do solo, onde o risco de erosão é maior, evitar o uso de maquinaria pesada em locais onde haja problemas de compactação do solo. Deverão ser deixadas na floresta a maior quantidade de folhas e raminhos finos, uma vez que estas frações de biomassa proporcionam valiosos nutrientes durante o seu processo de decomposição e ajudam a manter os conteúdos de matéria orgânica nos solos, neste sentido foi prevista na análise realizada apenas a utilização de 70% da BFR estimada como disponível, os restantes 30% estimados serão para ficar no terreno, salvaguardando as questões ambientais.

Foi realizada a separação por classes de distâncias aos centros fabris de Cacia e Setúbal, através da implantação de raios fixos de 10km. Intersectaram-se estes raios com as áreas de eucalipto, sendo assim possível identificar as áreas contidas em cada classe de distância (ver mapa abaixo).



**Fig. 25 – Localização das áreas de eucalipto por ano e por classe distância às centrais de Cacia e Setúbal (Fonte, Grupo Portucel, 2012)**

Para a quantificação da BFR partiu-se do pressuposto que existem em média 40ton de cepos de eucalipto por hectare, e que a quantidade de ramos e bicadas corresponde em média a 10ton/ha.

Assim, verificamos que para a central de Cacia, onde o consumo anual previsto é de 200000ton, as estimativas de BFR resultante dos cepos, considerando a distância de 100km, são de aproximadamente 18300ton/ano, o que corresponde a 9,2% do total de BFR necessária para a central operar, ver Tabela 6.



**Tabela 6 – Estimativa da quantidade de BFR resultante de cepos disponível por ano e por classe distância à central de Cacia**

Classe Distância (Km)	Área (ha)	Estimativa de área disponível para utilização de cepos(ha)	Quantidade de cepos potencialmente disponíveis por ano (ton/ano)	70 % da quantidade de cepos potencialmente disponíveis por ano (ton/ano)	70 % da quantidade acumulada de cepos potencialmente disponível por ano (ton/ano)	% referente a 200000ton/ano
000-010	0,5	0,0	1	1	1	0,0
010-020	770,9	32,1	1285	899	900	0,4
020-030	238,4	9,9	397	278	1178	0,6
030-040	1223,2	51,0	2039	1427	2605	1,3
040-050	2819,7	117,5	4700	3290	5895	2,9
050-060	2060,4	85,9	3434	2404	8299	4,1
060-070	2518,9	105,0	4198	2939	11237	5,6
070-080	1922,9	80,1	3205	2243	13481	6,7
080-090	2336,6	97,4	3894	2726	16207	8,1
090-100	1820,1	75,8	3034	2124	18330	9,2
100-110	1469,2	61,2	2449	1714	20044	10,0
110-120	2206,8	92,0	3678	2575	22619	11,3
120-130	3069,4	127,9	5116	3581	26200	13,1
130-140	7697,8	320,7	12830	8981	35181	17,6
140-150	7361,3	306,7	12269	8588	43769	21,9
150-160	6195,8	258,2	10326	7228	50998	25,5
160-170	4125,6	171,9	6876	4813	55811	27,9
170-180	542,1	22,6	903	632	56443	28,2
180-190	74,6	3,1	124	87	56530	28,3
190-200		0,0	0	0	56530	28,3

No que se refere às estimativas de BFR resultante dos ramos e bicadas, considerando igualmente uma distância de 100km, verificamos que se encontram disponíveis aproximadamente 9000ton/ano, o que corresponde a 4,6% do total de BFR necessária para a central operar, ver Tabela 7.

**Tabela 7 – Estimativa da quantidade de BFR resultante de ramos e bicadas disponível por ano e por classe distância à central de Cacia**

Classe Distância (Km)	Área (ha)	Estimativa de área disponível para utilização de varas (ha)	Quantidade de varas potencialmente disponíveis por ano (ton/ano)	70 % da quantidade de ramos e bicadas potencialmente disponíveis por ano (ton/ano)	70 % da quantidade acumulada de ramos e bicadas potencialmente disponível por ano (ton/ano)	% referente a 200000ton/ano
000-010	0,5	0,0	0	0	0	0,0
010-020	770,9	64,2	642	450	450	0,2
020-030	238,4	19,9	199	139	589	0,3
030-040	1223,2	101,9	1019	714	1303	0,7
040-050	2819,7	235,0	2350	1645	2947	1,5
050-060	2060,4	171,7	1717	1202	4149	2,1
060-070	2518,9	209,9	2099	1469	5619	2,8
070-080	1922,9	160,2	1602	1122	6740	3,4
080-090	2336,6	194,7	1947	1363	8103	4,1
090-100	1820,1	151,7	1517	1062	9165	4,6
100-110	1469,2	122,4	1224	857	10022	5,0
110-120	2206,8	183,9	1839	1287	11310	5,7
120-130	3069,4	255,8	2558	1790	13100	6,6
130-140	7697,8	641,5	6415	4490	17590	8,8
140-150	7361,3	613,4	6134	4294	21885	10,9
150-160	6195,8	516,3	5163	3614	25499	12,7
160-170	4125,6	343,8	3438	2407	27905	14,0
170-180	542,1	45,2	452	316	28222	14,1
180-190	74,6	6,2	62	44	28265	14,1
190-200	0,0	0,0	0	0	28265	14,1

Para o centro fabril de Setúbal, verificamos que para um consumo anual previsto é de 150000ton, as estimativas de BFR resultante dos cepos, considerando a distância de 100km, são de aproximadamente 22600ton/ano, o que corresponde a 15,1% do total de BFR necessária para a central operar, ver Tabela 8.

**Tabela 8 – Estimativa da quantidade de BFR resultante de cepos disponível por ano e por classe distância à central de Setúbal**

Classe Distância (Km)	Área (ha)	Estimativa de área disponível para utilização de cepos(ha)	Quantidade de cepos potencialmente disponíveis por ano (ton/ano)	70 % da quantidade de cepos potencialmente disponíveis por ano (ton/ano)	70 % da quantidade acumulada de cepos potencialmente disponível por ano (ton/ano)	% referente a 150000ton/ano
000-010	0,0	0,0	0	0	0	0,0
010-020	826,1	34,4	1377	964	964	0,6
020-030	1647,5	68,6	2746	1922	2886	1,9
030-040	1722,1	71,8	2870	2009	4895	3,3
040-050	1400,8	58,4	2335	1634	6529	4,4
050-060	1298,5	54,1	2164	1515	8044	5,4
060-070	2821,2	117,5	4702	3291	11335	7,6
070-080	2628,0	109,5	4380	3066	14401	9,6
080-090	2533,2	105,6	4222	2955	17357	11,6
090-100	4520,8	188,4	7535	5274	22631	15,1
100-110	6961,7	290,1	11603	8122	30753	20,5
110-120	9179,3	382,5	15299	10709	41462	27,6
120-130	10439,7	435,0	17399	12180	53642	35,8
130-140	4198,7	174,9	6998	4899	58541	39,0
140-150	2763,2	115,1	4605	3224	61764	41,2
150-160	246,8	10,3	411	288	62052	41,4
160-170	9,1	0,4	15	11	62063	41,4
170-180	0,0	0,0	0	0	62063	41,4
180-190	0,0	0,0	0	0	62063	41,4
190-200	0,0	0,0	0	0	62063	41,4

No que se refere às estimativas de BFR resultante dos ramos e bicadas, considerando igualmente uma distância de 100km, verificamos que se encontram disponíveis aproximadamente 11300ton/ano, o que corresponde a 7,5% do total de BFR necessária, ver Tabela 9.

**Tabela 9 – Estimativa da quantidade de BFR resultante de ramos e bicadas disponível por ano e por classe distância à central de Setúbal**

Classe Distância (Km)	Área (ha)	Estimativa de área disponível para utilização de varas (ha)	Quantidade de varas potencialmente disponíveis por ano (ton/ano)	70 % da quantidade de ramos e bicadas potencialmente disponíveis por ano (ton/ano)	70 % da quantidade acumulada de ramos e bicadas potencialmente disponível por ano (ton/ano)	% referente a 150000ton/ano
000-010	0,0	0,0	0	0	0	0,0
010-020	826,1	68,8	688	482	482	0,3
020-030	1647,5	137,3	1373	961	1443	1,0
030-040	1722,1	143,5	1435	1005	2447	1,6
040-050	1400,8	116,7	1167	817	3265	2,2
050-060	1298,5	108,2	1082	757	4022	2,7
060-070	2821,2	235,1	2351	1646	5668	3,8
070-080	2628,0	219,0	2190	1533	7201	4,8
080-090	2533,2	211,1	2111	1478	8678	5,8
090-100	4520,8	376,7	3767	2637	11316	7,5
100-110	6961,7	580,1	5801	4061	4061	2,7
110-120	9179,3	764,9	7649	5355	9416	6,3
120-130	10439,7	870,0	8700	6090	15505	10,3
130-140	4198,7	349,9	3499	2449	17955	12,0
140-150	2763,2	230,3	2303	1612	19567	13,0
150-160	246,8	20,6	206	144	19711	13,1
160-170	9,1	0,8	8	5	19716	13,1
170-180	0,0	0,0	0	0	19716	13,1
180-190	0,0	0,0	0	0	19716	13,1
190-200	0,0	0,0	0	0	19716	13,1

Verifica-se que a quantidade de BFR é superior na área envolvente de Setúbal, comparativamente com a envolvente de Cacia, para as propriedades geridas pelo Grupo Portucel. Relativamente às áreas de particulares verificamos que os povoamentos de eucalipto

têm aumentado a área na zona Norte Litoral (Anexo 3), o que poderá compensar as menores quantidades de BFR disponíveis identificadas para a envolvente da central de Cacia.

### 3.2 Sazonalidade dos materiais disponíveis

A Primavera e o Verão são as melhores épocas para a recolha da biomassa florestal. O armazenamento deve ter lugar entre outubro e maio ou entre agosto e fevereiro. A biomassa deve ser recolhida na saída do Inverno ou Primavera e permanecer sob armazenamento durante o Verão, para com isso ter um maior rendimento. O tempo de armazenagem é um fator importante a ser considerado, pois influencia as alterações das propriedades físicas e químicas da biomassa, logo, os custos operacionais na produção de energia. Sendo assim, o tempo de armazenagem deve ser suficiente para diminuir o teor de humidade da biomassa, sem que ocorram perdas energéticas devido à perda de massa seca. Deste modo, interessa procurar alcançar condições de menor teor de humidade, menor perda de massa, ganho energético superior no menor espaço de tempo possível (Rodrigues, 2009).

No gráfico abaixo é visível a variação sazonal da produção mensal de energia elétrica a partir de FER.

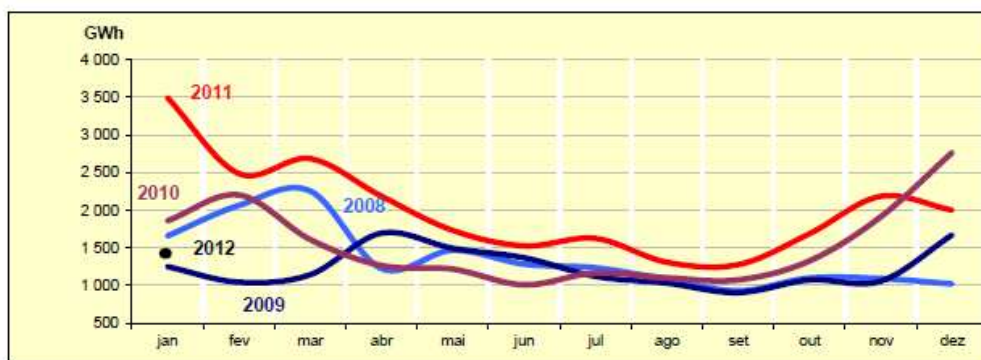


Fig. 26 – Produção mensal de energia elétrica a partir de FER (GWh) Portugal Continental (Fonte: DGE, 2012)

No ano de 2011 a produção de energia elétrica a partir de biomassa, biogás e RSU não apresentou uma variação significativa, mostrando uma ligeira tendência de aumento ao longo do ano.

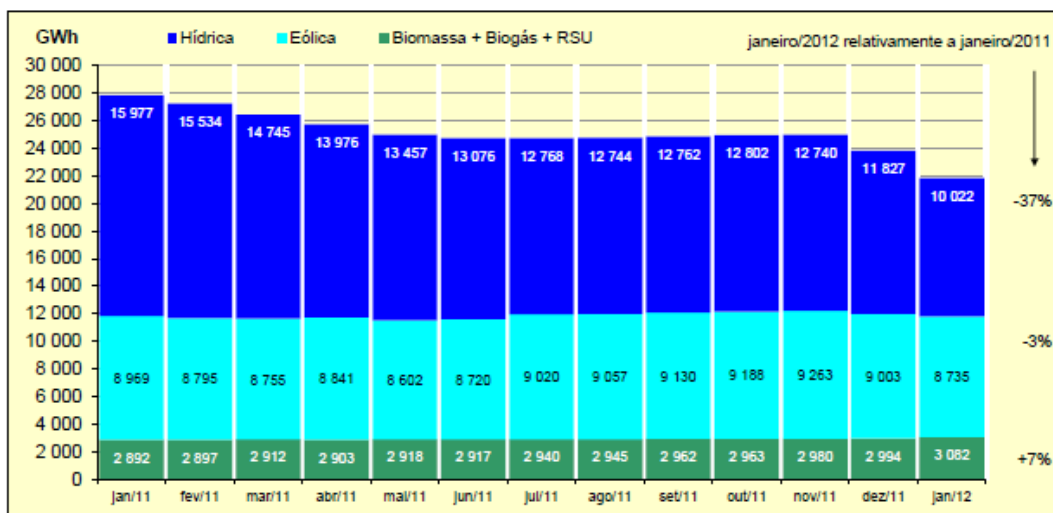


Fig. 27 – Produção de energia elétrica a partir de FER - Ano 2011 (GWh) Portugal Continental (Fonte: DGE, 2012)

Segundo um estudo Finlandês, em 2001, a redução da densidade média de energia de estilha que chegou por camião a três centrais foi de  $0,77 \text{ MWh/m}^3$ . As flutuações sazonais originam variações no teor de humidade da mistura (Hakkila, 2004).

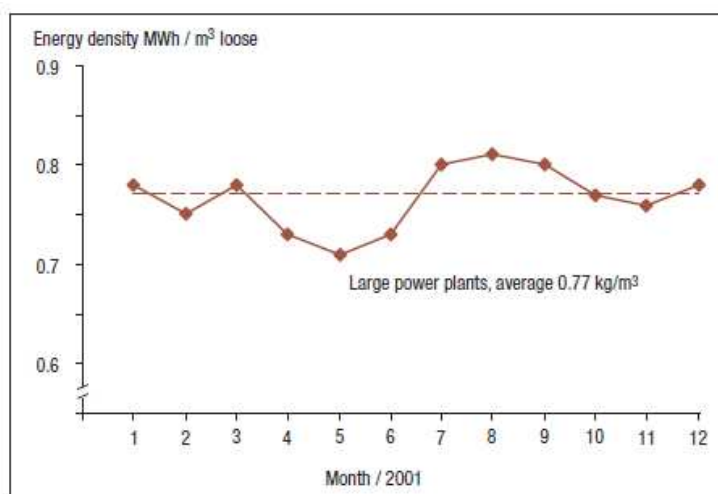
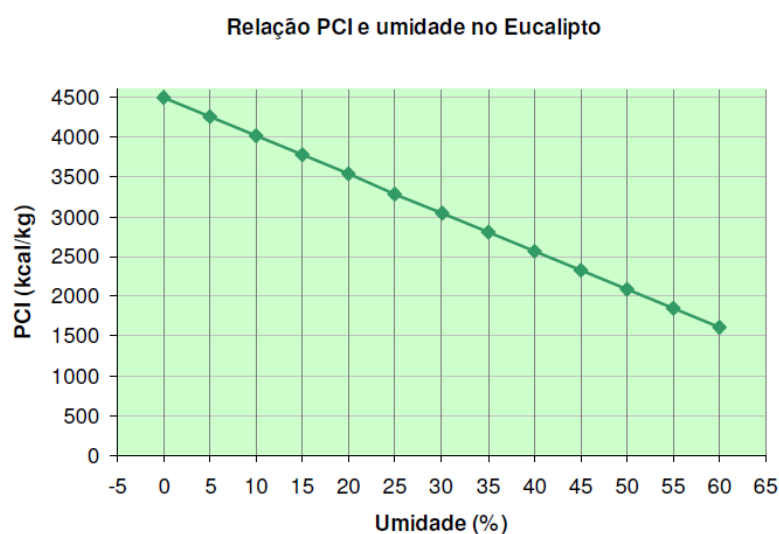


Fig. 28 – A variação mensal da densidade de energia de estilha de floresta em 2001 - Médias de três centrais, (Fonte: Hakkila, 2004)

### Humidade da biomassa

O teor de humidade influencia de forma significativa o poder calorífico, uma vez que a evaporação da água presente na biomassa, vai consumir parte da energia. No caso da estilha, por exemplo, o teor de humidade da biomassa verde pode corresponder a valores entre 50 a 60% do peso total. No geral, o teor de humidade da biomassa varia entre 20 e 65 % e está dependente de fatores tão distintos como as condições climatéricas, a altura do ano, a espécie florestal, a parte da árvore utilizada (folhas, ramos, bicadas) e a fase de armazenamento.

Para a biomassa lenhosa fresca, o teor de água situa-se geralmente entre os 40 e 60% sendo que nas plantas verdes pode representar 80%. Com a secagem de biomassa ao ar livre atingem-se teores de água variáveis entre os 12 e 18%, dependendo da estação do ano e humidade ambiente. A título de exemplo, madeira cortada pode apresentar teores de humidade entre os 50 e 100%, perdendo durante o primeiro ano de corte, de 25 a 50% dessa água. Neste sentido, a característica de qualidade mais importante, para qualquer fonte de energia, é o poder calorífico que no caso da biomassa é diretamente influenciada pelo conteúdo de água, como demonstra a figura abaixo representada (Rodrigues, 2009).



**Fig. 29 – Comportamento do poder calorífico inferior relativamente à humidade (Fonte: Cortez, *et al.*, 2008)**

Foi realizado o estudo baseado no poder calorífico inferior (PCI) do eucalipto para as humidades de 30% e 50%. Obteve-se um PCI de 3.020 kcal/kg para 30% de humidade e 2030kcal/kg para 50%. O eucalipto é cortado com 50% de humidade sendo a densidade igual a 0,717 t/m<sup>3</sup>, já com 30% esta densidade aproxima-se de 0,609 t/m<sup>3</sup> (Cortez, *et al.*, 2008).

### Armazenamento

O armazenamento da BFR é uma operação a ter em conta e deve ser observado com algum cuidado dado as suas características físicas nomeadamente, baixa densidade, condições de humidade e a sua heterogeneidade. A ocorrer, o armazenamento deve ser efetuado durante o menor tempo possível.

A oferta de BFR resultante do aproveitamento de sobrantes da exploração florestal está dependente da atividade regular da indústria transformadora de madeira, produtora de bens transacionáveis que representam 8% das exportações portuguesas, como tal, não é uma atividade regular, nem ao longo do ano, nem sequer de um ano para outro (APREN, 2010). Assim, se pretender manter a produção de energia utilizando BFR, existe necessidade de

armazenar quantidades suficientes de biomassa durante todo o ano, por um período de tempo significativo.

Este tem como finalidade assegurar o fornecimento, obedecendo aos mesmos critérios aplicados a qualquer matéria-prima ou produtos intermédios. No entanto, há algumas particularidades relativamente ao armazenamento da biomassa florestal que é importante salientar. Deve no entanto ter-se em consideração, que um menor número de operações significa um menor custo e que sempre que estamos a movimentar a biomassa estamos a encarecer o produto final.

Os problemas introduzidos pela sazonalidade da disponibilidade de biomassa podem ser evitados, se for usado um tipo de biomassa que esteja disponível todo o ano. No entanto, a abordagem de utilização de vários tipos de biomassa pode resolver significativamente estes problemas. Segundo Nunes (2012), a utilização de duas fontes de biomassa diferentes, em vez de uma só, pode levar a redução de custos na ordem de 15% a 20%.

Para além disso, existem também problemas de saúde e segurança, tal como o perigo de formação de fungos, esporos e ignição espontânea devido ao aumento da humidade.

O modo de armazenamento e a exposição ao ar influenciam também os valores do PCI da biomassa, esta considera-se seca com teores de humidade entre os 25 e 30% (Rodrigues, 2009).

A densidade aparente destes produtos é muito variável, pode afirmar-se que a densidade aparente aumenta com o tempo de armazenamento (CBE, 2008b).

O limite de capacidade e de armazenamento dos centros fabris de Cacia e Setúbal varia de acordo com a época do ano e com a sua localização, de acordo com a Tabela abaixo.

**Tabela 10 – Capacidade de armazenamento nos centros fabris (ton)**

<b>Stock no Silo (estilha ton)</b>	<b>Stock no Parque (biomassa bruta ton)</b>	
	<b>Verão</b>	<b>Inverno</b>
2 000	10 000	15 000 - 20 000

Os silos têm capacidade de 10000m<sup>3</sup>, considerando a densidade da biomassa de 200Kg/m<sup>2</sup>, o que equivale a 2000ton, suficiente para garantir o funcionamento da caldeira durante 3 a 4 dias, dependendo da qualidade da biomassa.

Os parques dos centros fabris armazenam simultaneamente biomassa e madeira. Durante o Verão o stock de biomassa é inferior, permitindo um aumento da quantidade de madeira, durante o Inverno este cenário inverte-se.





**Fig. 31 – Fotografia da madeira para celulose e de cepos – Parque de Cacia**

**Fig. 30 – Fotografia de cepos – Parque de Cacia**

Consideram-se os custos de armazenamento nos parques fabris constantes de 1,5€/ha.

O armazenamento é uma fase crítica da cadeia logística. Existem várias opções, utilizar armazéns cobertos ou expor a mercadoria ao ar livre. Na maior parte dos casos, são escolhidas as soluções com baixo custo de armazenamento, sem analisar os efeitos positivos de soluções com custos superiores. O método de armazenamento descoberto tem a vantagem do baixo custo mas, por outro lado, a perda de material de biomassa é significativa e o teor de humidade da mesma não pode ser controlado e reduzido para níveis desejados, levando a problemas de qualidade na produção.

A quantidade prevista necessária para garantir o funcionamento das centrais durante um ano é variável devido essencialmente ao teor de humidade, em Cacia está previsto que necessitem de aproximadamente 200 mil toneladas em contrapartida em Setúbal só se prevê a necessidade de 150 mil toneladas, de acordo com a tabela abaixo.

**Tabela 11 – Estimativa da quantidade de biomassa consumida por central (ton)**

Central	Estimativa da quantidade biomassa anualmente consumida (ton)	Estimativa da quantidade média mensal de biomassa consumida (ton)
Cacia	200.000	16.667
Setúbal	150.000	12.500

A disponibilidade de biomassa pode variar significativamente ao longo do ano, em particular devido às flutuações na procura anual. Em Portugal, a procura de biomassa tenderá a ser mais equilibrada porque a eletricidade produzida tem pouco significado e a produção de energia elétrica é paga a uma tarifa de aquisição independente da procura. No entanto, em países como a Itália e a Áustria, onde há muitos lares aquecidos a estilha ou *pellets*, existem picos de consumo durante a estação fria que podem levar à rutura dos *stocks* (Netto, 2008).

### 3.3 Avaliação de custos

#### Custo de produção

Os custos de produção da BFR correspondem aos gastos que o proprietário da floresta tem para a produzir. Nas florestas de produção mista madeira/BFP torna-se difícil a separação dos custos entre as diferentes produções que se podem obter da floresta. Assim, neste trabalho, optou-se por um critério prudente que tende a minimizar os custos atribuídos à produção da BFR em detrimento dos atribuídos à produção de madeira. Igualmente, os custos dos cuidados silvícolas necessários para a produção de madeira para celulose, não são imputados aos custos de geração de BFR, pois o objetivo inicial da plantação do povoamento foi a produção de madeira para celulose, e as operações de manutenção silvícolas que foram realizadas, consideraram esse objetivo e não o da produção de BFR.

#### Custo de aproveitamento e transporte

Quando nos referimos a custos de aproveitamento e transporte estamos a equacionar os custos das operações de arranque de cepos, rechega, trituração e transferência da BFR para a central de aproveitamento energético ou armazém. Para a determinação destes custos parte-se da situação em que já foi explorada a madeira para celulose, encontrando-se unicamente na floresta os cepos, os ramos e as bicadas, cortados e espalhados no solo prontos para se iniciar o seu aproveitamento e ser recolhida de forma mecanizada ou semi mecanizada. Considera-se ainda que teve uma pré-secagem natural na floresta até baixar a humidade para os valores aceitáveis. Não é tido em conta o custo do armazenamento, dado que o carregamento é feito em floresta.

O custo calculou-se para vários métodos de trabalho, entre os mais utilizados e com possibilidade de aplicação e segundo os preços habituais de contratação de empresas prestadoras desses serviços.

Os critérios metodológicos utilizados no cálculo dos custos de aproveitamento tiveram por base povoamentos de eucalipto objeto de uma silvicultura para a produção de madeira para celulose.

Existe uma grande variação nos custos relacionados com as operações de recolha, processamento e transporte de biomassa. Várias razões contribuem para esse facto, como o tipo de biomassa, a sua localização, a quantidade, o tipo de equipamento, a época do ano, entre outros.



No projeto *Enersilva* os custos totais de estilha obtidos no centro de consumo de biomassa em Portugal variaram entre 41-76€/ton (Enes, *et al.*, 2007).

Podem-se verificar na tabela abaixo os custos de operações para a obtenção da biomassa florestal (Rodrigues, 2009).

**Tabela 12 – Custos das operações (Fonte: adaptado Rodrigues, 2009)**

Tipo de operações	Custos (€/ton)
Rechega	5,50
Alimentação do Triturador	1,51
Trituração	7,00
Transporte	6,95
Total	20,96

O Centro de Biomassa para Energia – CBE (2008) realizou um trabalho de avaliação dos custos de aproveitamento da biomassa florestal na região Centro, onde identificaram que o custo do transporte por tonelada se situa nos 6,70€ (trator com semirreboque), para distâncias até aos 100/120km (ida e volta), valor este que consideraram para obter o custo total dos trabalhos de exploração florestal. Assim, o custo do transporte de material lenhoso será de aproximadamente 0,12€/ton/Km, desde a carga até ao local de descarga do material lenhoso.

Segundo Formosinho (2005), os custos de biomassa recolhida na floresta situam-se na ordem dos 20-25€/ton. As operações de estilhagem dos ramos e bicadas acarretam um acréscimo da ordem dos 10€/ton o que implica um custo final de resíduos florestais fragmentados da ordem dos 30-35€/ton, embora um grande consumidor como a Central Termoelétrica de Mortágua tenha conseguido um custo médio de 25€/ton para os resíduos já destroçados de eucaliptais.

Enes, *et al.* (2007) refere que os custos de aproveitamento e transporte oscilam entre 29 e 95€/ton 35% hum, sem considerar os custos de geração do proprietário. Na medida que se melhore a tecnologia dos aproveitamentos de BFR e se introduza maquinaria de alto rendimento, estes custos tenderão a reduzir para os valores mais baixos.

Os custos utilizados nesta análise são referentes aos anos de 2010 e 2011 (Grupo Portucel), foi possível identificar custos médios indicativos, ajustados à realidade que se apresentam na tabela abaixo.

**Tabela 13 – Custos indicativos das operações (Fonte: adaptado de Carvalho, 2010)**

Operações (€/ton)	Cepos	Ramos e Bicadas	Fardos
Corte e arranque	15,0 <sup>b)</sup>	-	-
Rechega	5,0	8,00	3,5
Transporte	a)	a)	a)
Trituração fixa elétrica	4,0	4,00	4,0
Armazenamento - Parque	1,5	1,50	1,5
<b>Total</b>	<b>10,5</b>	<b>13,5</b>	<b>9,0</b>

a) os custos indicativos para o transporte são apresentados na Tabela abaixo

b) Os custos de corte e arranque dos cepos são imputados à preparação do terreno, não entrando na contabilização dos custos da BFR.

Verifica-se que a rechega de ramos e bicadas é mais onerosa do que a dos cepos, isto fica a dever-se à sua reduzida densidade e à menor quantidade de toneladas por hectare, o que leva a um aumento do tempo de recolha.

Os custos de referência para o transporte encontram-se descritos na Tabela abaixo, considerando o tipo de transporte e o escalão de km. A distância de transporte de carregamento do camião à central varia de acordo com os intervalos de distância definidos (0-200km).

**Tabela 14 – Cotação por classe de km dos preços de transporte (Fonte: adaptado de grupo Portucel Soporcel, 2010)**

Semi-trailer com fueiros		Semi-trailer rígido	
Classe Distância (Km)	Preço de referência transporte (€/ton)	Classe Distância (Km)	Preço de referência transporte (€/ton)
000-010	2,52	000-010	2,52
010-020	3,00	010-020	3,00
020-030	3,35	020-030	3,35
030-040	3,85	030-040	3,85
040-050	4,36	040-050	4,36
050-060	4,87	050-060	4,87
060-070	5,40	060-070	5,40
070-080	5,94	070-080	5,94
080-090	6,48	080-090	6,48
090-100	7,03	090-100	7,02
100-110	7,60	100-110	7,22
110-120	8,15	110-120	7,70
120-130	8,71	120-130	8,15
130-140	9,28	130-140	8,65
140-150	9,85	140-150	9,11
150-160	10,42	150-160	9,56
160-170	10,99	160-170	10,02
170-180	11,56	170-180	10,45
180-190	12,12	180-190	10,89
190-200	12,69	190-200	11,30

Os custos de transporte variam em função da distância e do tempo de transporte. A distância de transporte afeta principalmente o consumo de combustível dos veículos, o tempo de viagem, acentua principalmente a proporção de depreciação, seguro, manutenção e trabalho alocado a essa mesma viagem. O tempo de viagem inclui o tempo de ida e retorno, assim como o tempo de espera entre os carregamentos e descarregamentos. Devido à baixa densidade dos tipos de

biomassa, a capacidade dos veículos de transporte acabará por ser limitada em termos de volume e não pelo peso da carga. Como resultado, há geralmente um aumento da necessidade de equipamentos de transporte e de manuseamento, bem como de espaço de armazenamento (Nunes, 2012).

Os valores apresentados para os custos de processamento e transporte de BFR, são valores médios das operações, não tendo sido realizado o ajustamento às dificuldades pontuais que possam existir em determinadas unidades de gestão.

O custo de processamento e transporte foi calculado a partir de dados reais disponíveis e considerando as técnicas de recolha apropriadas a cada região. Os anos de 2010 e 2011 serviram de referência para os custos apresentados, referem-se em todos os casos a toneladas a 35% de humidade sobre base seca;

A agregação dos custos de processamento e transporte permitem obter o custo final da matéria-prima no local de consumo.

As condições de extração da BFP são muito variáveis, dependendo de alguns fatores que influenciam os custos de aproveitamento: a superfície de extração, a inclinação do terreno, com desníveis ou afloramentos rochosos, a presença de obstáculos no terreno como arvoredo a manter, as dimensões da propriedade, a quantidade de recursos aproveitada e ainda, a densidade da rede viária da propriedade e de caminhos florestais acessíveis a camiões.

Foi considerado o valor de 65€/MWh para a laboração das centrais referente aos custos fixo e variáveis.

### **3.4 Aquisição de biomassa**

O fator essencial para a economia da utilização da biomassa é o custo da matéria-prima, que hoje em dia varia de um custo negativo para resíduos de madeira, através de materiais residuais de baixo custo para as culturas energéticas mais caras. O espectro resultante de custos de geração de energia é correspondentemente amplo (Greenpeace e EREC, 2008).

Na tabela 15 encontram-se listados os preços praticados na aquisição de biomassa desde 1 de abril de 2012, nos centros fabris de Cacia e Setúbal do Grupo Portucel.

**Tabela 15 – Preços praticados na aquisição de biomassa a partir de 1 de Abril de 2012, (Fonte: adaptado Grupo Portucel)**

	CACIA	SETÚBAL
<b>Biomassas trituradas</b>		
Triturada de Res.Flor./ Casca /Serrim	25,00 €	24,00 €
Triturada de bicadas	27,00 €	26,50 €
Triturada de lenho/cepo	29,00 €	29,00 €
<b>Biomassas não trituradas</b>		
Cepos em bruto	10,00 €	10,00 €
Cepos pré-triturados (tesourados)	19,00 €	19,00 €
Fardos	30,00 €	30,00 €
Rolaria mista	23,00 €	25,00 €
Bicadas não Trituradas	13,50 €	13,50 €

### 3.5 Avaliação do valor energético da biomassa

O valor energético da biomassa depende de vários fatores, como o tipo de recurso florestal, o seu grau de humidade e também com as propriedades físicas e químicas das suas macromoléculas. Para garantir a melhor eficiência energética e obter um mercado de biomassa florestal transparente, a definição de qualidade é importante, cada tipo de biomassa tem características específicas que determinam a sua performance como FER, as propriedades identificadas como sendo as mais importantes são descritas abaixo.

A **percentagem de humidade**, da biomassa é definida como a quantidade de água presente no material, expressa em percentagem de peso do material. Este valor pode ainda ser determinado numa base “molhada”, “seca” ou “seca-e-livre-de-cinzas). Quanto menor for o teor de humidade, maior é o poder calorífico (PC) da matéria, conduzindo a uma eficácia da combustão/gaseificação maior e menor formação de alcatrão. Os valores da percentagem de humidade podem ser mais altos em resíduos florestais 50 a 70% ou assumir um peso menor 10 a 20% em grãos de cereais e *pellets* (Quaak, *et al.*, 2009).

A **quantidade de matéria volátil** será a matéria da biomassa que aquecida a 400°/500 °, se liberta na forma de gases voláteis e partículas sólidas carbonáceas. É responsável pela formação de alcatrões na fornalha/gaseificador, dependendo das condições da operação. A quantidade de matéria volátil pode ir de 10% aos 80%, dependendo da biomassa em questão.

A **composição elementar** refere-se à composição orgânica da biomassa, numa base livre de cinzas, sendo que esta é relativamente uniforme. Os principais constituintes são o carbono, o hidrogénio e o oxigénio, numa fração menor encontramos o azoto e o enxofre.

A **densidade** da biomassa refere-se à massa (peso) por unidade de volume numa quantidade livre de água. A densidade aparente da BFR é muito variável, dependendo do grau de transformação, do tamanho e da humidade, etc. Segundo Quaak (2009) os valores podem variar dos 150-200kg/m<sup>3</sup> de resíduos da agricultura até aos 600-900kg/m<sup>3</sup> para madeira sólida. Um estudo do CBE (2008) refere que a densidade da BFR pode variar entre 200 e 300 kg/m<sup>3</sup>. No caso da estilha deve ser dada especial atenção à granulometria. Regra geral, pode afirmar-se que a densidade aparente aumenta com o tempo de armazenamento (CBE, 2008b).

**Tabela 16 – Densidade aparente da BFR proveniente da exploração em condições de armazenamento e transporte (Fonte: CBE, 2008b)**

Tipo de biomassa	Estado	Densidade aparente (Kg/m <sup>3</sup> )
Bicadas, ramos e casca	Natureza	145 a 172
	Processado	200 a 300

A **morfologia** caracteriza qualitativa e quantitativamente a celulose, hemicelulose, lenhina, amido, lípidos, proteínas e açúcar presentes na biomassa (Quaak, *et al.*, 2009).

Quanto à morfologia das plantas folhosas, as paredes celulares dos tecidos vasculares são compostas por celulose, hemicelulose e lenhina, nas percentagens de 45 a 55%, 24 a 40% e 18 a 25%, respetivamente, que no seu total representam cerca de 90% do peso seco da planta.

A **quantidade e composição de cinzas e contaminantes** geralmente são determinadas numa base de matéria seca, a quantidade de cinzas (componentes inorgânicos) representa menos de 0,5% na madeira e 5-10% nos materiais agrícolas, podendo mesmo atingir os 40% dependendo do tipo de material. A composição afeta a seleção do tipo de gaseificador/fornalha, o comportamento da queima a altas temperaturas e a quantificação deste parâmetro tem relevância na eficácia do sistema de limpeza do efluente gasoso e prevenção de problemas de entupimento dos gaseificadores/fornalhas devido à fusão e deposição dos materiais que compõem a cinza. Baixos valores de contaminantes são desejáveis, ou até mesmo a ausência destes compostos, como por exemplo, metais alcalinos, metais pesados, enxofre, cloro e azoto (Quaak, *et al.*, 2009).

Propriedades **termoquímicas**: temperatura de combustão, entalpia da reação de combustão e energia de ativação. Estas características são influenciadas pelas propriedades da biomassa e da instalação de queima.

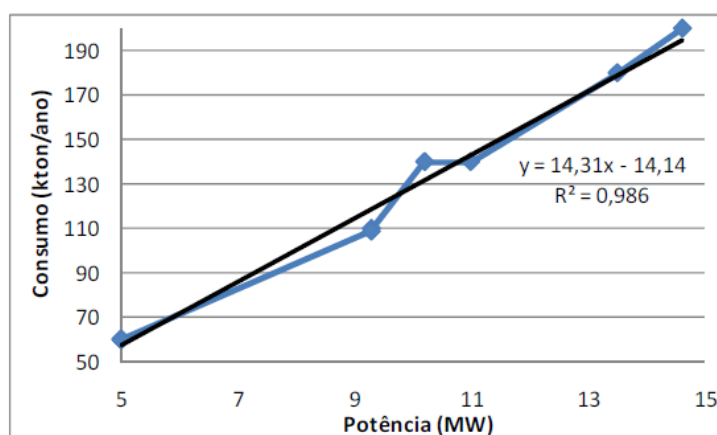
A **taxa de combustão** é influenciada pelas dimensões da partícula, porosidade, condutividade térmica, densidade e calor específico.

O **Poder Calorífico** (PC) pode ser determinado a partir da composição elementar, do teor de cinzas e humidade presente na biomassa, ou simplesmente através da realização de testes a este parâmetro em laboratórios acreditados. A maioria dos compostos de biomassa possui um valor de PC inferior a 19MJ/kg (Quaak, *et al.*, 2009).

Distingue-se o Poder Calorífico Superior (PCS) do Poder Calorífico Inferior (PCI), sendo que o primeiro representa a energia máxima que se pode obter da combustão completa da matéria, considerando-se que é produzida água no estado líquido, e o segundo representa a energia real que se obtém da combustão da matéria húmida e considerando-se que é produzida água no estado gasoso. Ambos os parâmetros são utilizados no cálculo da eficiência de combustão do equipamento, sendo hábito nos países europeus a utilização do PCI e nos Estados Unidos o do PCS (Sousa, 2009).

A combinação do valor da *densidade* da biomassa em conjunto com o *poder calorífico* determina a densidade energética do material de alimentação ao gaseificador/fornalha, ou seja, o potencial de energia disponível por unidade de volume de biomassa.

Segundo Sousa (2009) a maioria dos compostos de biomassa possui um valor de PC inferior a 19MJ/kg.



**Fig. 32 – Relação entre potência gerada e consumo de biomassa (Fonte: Sousa, 2009)**

Verifica-se que existe uma relação linear, com excelente valor de correlação, que possibilita a previsão do consumo anual de biomassa com a potência gerada, assim como todos os efeitos que daí advêm (Sousa, 2009).

A Tabela 17 compara, segundo Rodrigues (2009), o poder calorífico da biomassa com outros combustíveis, verifica-se que a biomassa apresenta um valor inferior de PCI em relação aos restantes combustíveis.

**Tabela 17 – Comparação do poder calorífico da biomassa com alguns combustíveis (Fonte: adaptado Rodrigues, 2009)**

	PCI [Kj/Kg]
Pet-coque	33000
Gás natural	58224
Fuel óleo 4	40570
Gás propano	47730
Gasóleo	42700
Biomassa	15000

Segundo um trabalho do CBE, o cálculo do poder calorífico da amostra foi efetuado segundo o algoritmo descrito na norma ASTM D 1989, procedendo-se a todas as correções nela descritas (CBE, 2008b), verificamos que os valores são superiores aos indicados anteriormente.

**Tabela 18 – Resultados da determinação do poder calorífico (variância e o intervalo de confiança) (Fonte: adaptado CBE, 2008b)**

Tipo de biomassa	PCI (Kj/kg)	STD ( <i>standard deviation</i> )	STD 10%
Ramos	17 537,01	348,85	181,45
Bicadas	21 334,15	93,65	48,71

De acordo com Formosinho (2005) a combustão das espécies florestais portuguesas e de mato, fornecem poderes caloríficos com pequena variação, tomando um valor da ordem dos 20MJ/Kg para resíduos secos e 15 MJ/kg para o poder calorífico inferior de resíduos com cerca de 30% de humidade, verificamos que uma tonelada de *pet-coque* poderá ser substituída por cerca de 2,2 ton de biomassa com humidade da ordem dos 30%.

**Tabela 19 – Poderes caloríficos superiores e % de inertes por tipo de biomassa (Fonte: adaptado Silva, 2009)**

Tipo de biomassa	Bicadas	Estilha	Cepos	Métodos utilizados
Inertes %	-	3	15	Cinzas a 550° + tratamento com mistura nitro-perclórica
PCS (cal/g)	4361	4529	4131	CEN/TS 14918

As características da biomassa vão influenciar de forma determinante os sistemas de queima.

Com base no histórico de fornecimentos às centrais, e após a segregação das quantidades por tipo de biomassa nos diferentes meses, estimou-se o valor de 0,909MWh/ton para a BFR resultante de cepos, e 0,626MWh/ton para a BFR resultante de ramos e bicadas, verificamos que os cepos são mais energéticos que os ramos e bicadas.

#### 4. ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÓMICA DO APROVEITAMENTO DE BIOMASSA

Segundo Lopes, M. D. S. (2011), a importância da análise de projetos é inequívoca, já que se trata de tomadas de decisões de caráter estratégico, que comprometem a empresa por um período mais ou menos longo. É ainda função da análise dos projetos de investimento a determinação correta do *timing* em que os mesmos deverão estar prontos para funcionamento, evitando a perda de oportunidades de mercado que lhe deu origem.

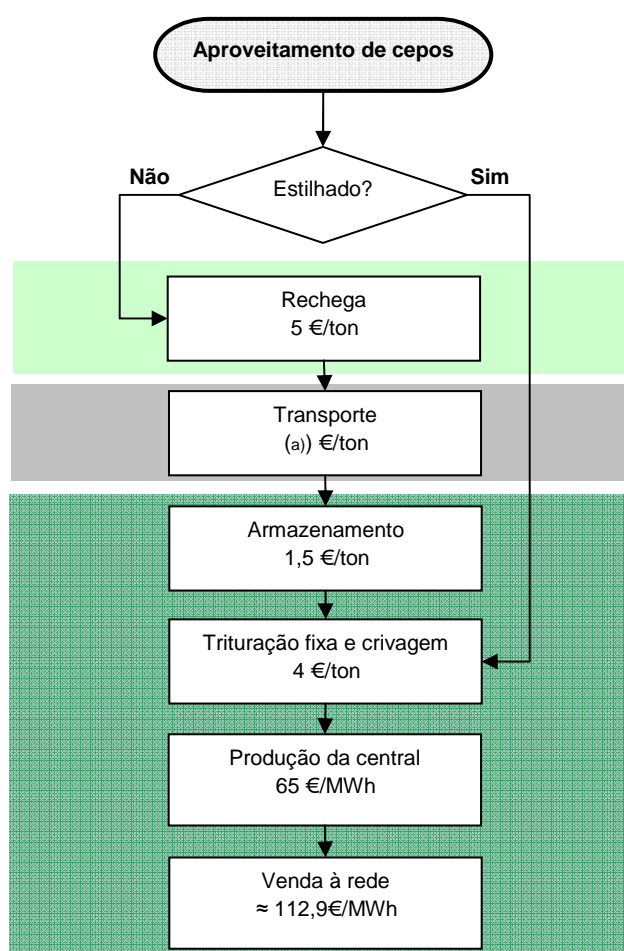
O sucesso ou fracasso de um projeto não depende apenas da sua componente económico-financeira. Várias são as áreas onde se podem encontrar fatores de risco para o projeto e sobre as quais a análise de viabilidade deverá incidir desde o aparecimento da ideia inicial: *background* do projeto, análise estratégica; análise de recursos; análise técnica; análise de mercado; enquadramento legal; análise institucional, análise social; análise ambiental e análise política (Lopes, 2011).

Na perspetiva do proprietário, o aproveitamento da BFR permite-lhe retirar mais rendimento da exploração florestal, valorizando o que antes era um resíduo. Este facto contudo, não significa que o resíduo não tenha um valor próprio. Como foi referido, não extrair a BFR tem benefícios ambientais que favorecem o proprietário, como a proteção do solo, o efeito da erosão ou a restituição de nutrientes. Existe, portanto, uma concorrência entre os dois usos que tem que ser considerada. Na análise do lucro que o proprietário pode auferir com a exploração da BFR para fins energéticos, apenas as operações de recolha, trituração e transporte devem ser consideradas, sendo as restantes operações – abate e processamento – imputadas à exploração do produto principal. Este rendimento extraordinário permite, numa perspetiva global da exploração florestal, melhorar a viabilidade económica dos desbastes, cortes finais e preparação do terreno para uma nova plantação. Estima-se que a exploração da BFR dos cortes finais nos EUA pode reduzir em 60-74% os custos de preparação do terreno para reflorestação. Os empreiteiros florestais são beneficiados pela exploração da BFR na medida em que induz um aumento da procura de trabalho e consequentemente torna o capital das empresas mais rentável (Netto, 2008).

Ao longo dos últimos anos, tem havido uma expansão rápida, em todo o mundo no consumo de energia renovável a partir da indústria de pasta e de papel. Numerosas fábricas de papel e celulose têm tomado a decisão estratégica de investir no equipamento necessário para fazer a troca de combustíveis fósseis por biomassa lenhosa. O consumo global de biomassa lenhosa pela indústria de celulose aumentou em mais de 50% entre 2006 e 2009 (FAO, 2010).



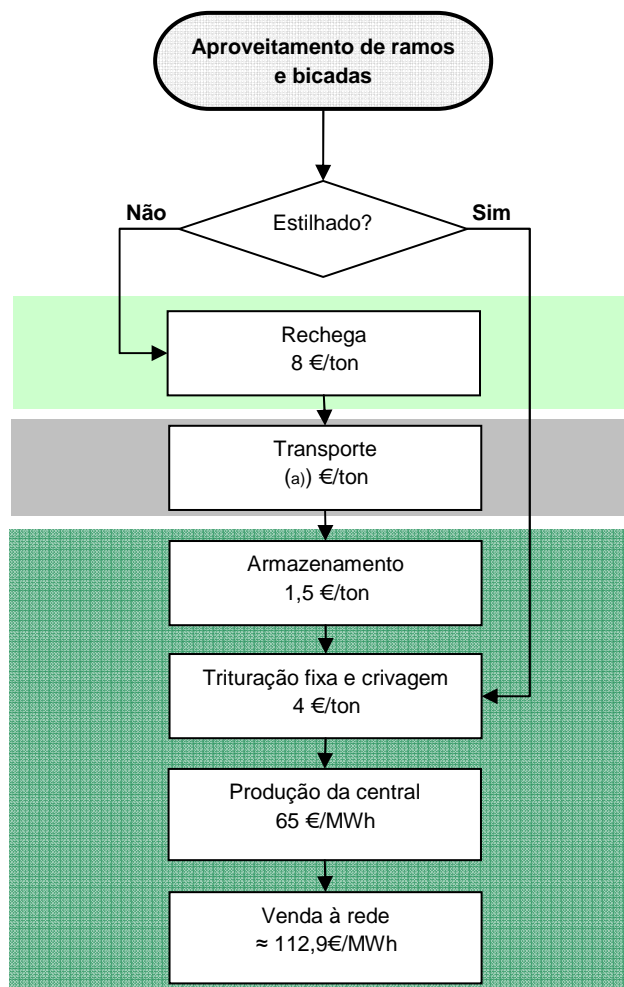
No esquema que se segue é apresentada a sequência de operações relacionadas com o aproveitamento de cepos para biomassa, a grande diferença reside na forma em que se encontra a BFR, se esta já está estilhada ou não. Caso a BFR ainda se encontre no terreno em bruto, esta terá de ser arrancada, sendo realizado um pré corte para libertar os inertes de maiores dimensões que envolvem as raízes e cepo (os custos desta operação são imputados ao novo projeto de rearborezação), será em seguida efetuada a sua recarga com posterior transporte. Quando chega ao centro fabril esta é colocada num parque exterior, para posteriormente ser triturada, crivada, e passar para o silo para ser utilização na central. No caso da biomassa adquirida já estar estilhada, esta passa novamente pelo triturador fixo e em seguida é crivada antes de entrar no silo para posterior produção elétrica.



a) Tabela - Cotação por classe de km dos preços de transporte

**Fig. 33 – Processo de aproveitamento de cepos de eucalipto**

No que se refere ao aproveitamento dos ramos e bicadas o procedimento é em todo semelhante divergindo unicamente na primeira operação onde neste caso os ramos e bicadas já se encontram cortados e colocados no solo prontos a ser recheados.



a) Tabela - Cotação por classe de km dos preços de transporte

**Fig. 34 – Processo de aproveitamento de ramos e bicadas de eucalipto**

Depois da sua chegada à central, e quando for necessário que a biomassa seja utilizada, esta é colocada no triturador fixo, é posteriormente crivada, onde se tenta separar tudo o que são inertes (ex. pedras, metais, vidros, ...), passando em seguida para o *silo*, onde fica colocada até ser transportada através de um tapete rolante até à caldeira.

#### 4.1 Análise da viabilidade técnica do aproveitamento dos resíduos

A entrada em funcionamento das Centrais de Cacia e Setúbal teve lugar entre dezembro de 2009 e janeiro de 2010, estas centrais possuem um equipamento de trituração fixa elétrica que permitiu reduzir os custos de transformação de biomassas alternativas, como os cepos e fardos (ramos e bicadas) aumentando a sua captura. Os dados preliminares apontam para custos de trituração 30 a 40% inferiores aos da trituração móvel a diesel anteriormente utilizada.

Existe uma complementaridade entre o início de laboração (janeiro 2010) dos equipamentos de trituração fixa elétrica e a viabilidade da utilização de biomassas alternativas. Os investimentos realizados atendem aos objetivos, visando criar condições favoráveis à empresa no futuro.

Verifica-se no sistema atualmente em funcionamento que a quantidade de inertes continua a ser superior ao desejável, implicando um desgaste da infraestrutura e uma diminuição do rendimento.



**Fig. 36 – Inertes metálicos separados na Central de Cacia**



**Fig. 35 – Inertes (pedras) separados na Central de Cacia**

Presentemente os ramos e bicadas apresentam entre 8% e 10% de inertes e os cepos 30%, podendo em casos extremos atingir os 50% de inertes.

Surge como oportunidade de melhoria a realização de uma crivagem fina da BFR já triturada, visando a supressão dos inertes que ainda entram no sistema de produção de eletricidade.

Propõe-se a instalação de um crivo em série com o equipamento já existente com custo aproximado de 500 mil euros. Este equipamento possibilitará ultrapassar um dos grandes inconvenientes da utilização de cepos para produção de energia, a elevada percentagem de inertes.

## **4.2 Análise e simulação de custos**

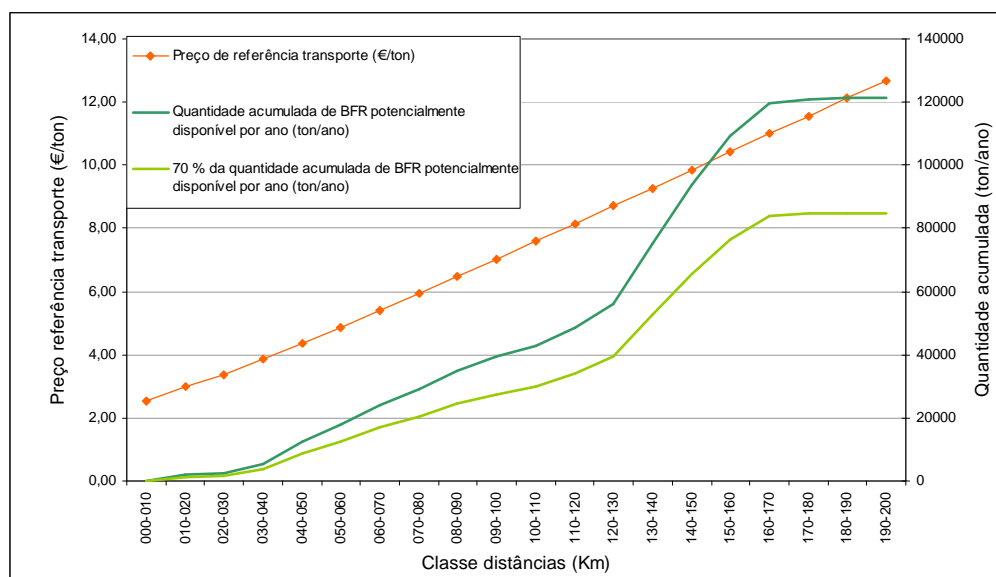
Os custos de *produção* da BFR não serão contabilizados na análise de acordo com anteriormente justificado.

Para a central de Cacia verificamos que se utilizarmos a distância de 80km à Central e apenas 70% da quantidade acumulada de BFR potencialmente disponível por ano, conseguimos disponibilizar na Central 20000ton, o que corresponde a 10% das suas necessidades.

**Tabela 20 – Estimativa da quantidade de BFR resultante dos cepos, ramos e bicadas disponível por ano e por classe distância à central de Cacia**

Classe Distância (Km)	Quantidade de BFR potencialmente disponível por ano (ton/ano)	70 % da quantidade de BFR potencialmente disponível por ano (ton/ano)	Quantidade acumulada de BFR potencialmente disponível por ano (ton/ano)	70 % da quantidade acumulada de BFR potencialmente disponível por ano (ton/ano)
000-010	1	1	1	1
010-020	1927	1349	1929	1350
020-030	596	417	2524	1767
030-040	3058	2141	5583	3908
040-050	7049	4934	12632	8842
050-060	5151	3606	17783	12448
060-070	6297	4408	24080	16856
070-080	4807	3365	28887	20221
080-090	5842	4089	34729	24310
090-100	4550	3185	39279	27496
100-110	3673	2571	42952	30067
110-120	5517	3862	48469	33929
120-130	7674	5371	56143	39300
130-140	19244	13471	75387	52771
140-150	18403	12882	93791	65654
150-160	15490	10843	109280	76496
160-170	10314	7220	119594	83716
170-180	1355	949	120950	84665
180-190	186	131	121136	84795
190-200	0	0	121136	84795

A relação entre os custos estimados de transporte para a Central e a quantidade acumulada de BFR resultante de cepos, ramos e bicadas de eucalipto disponível por ano, foram distribuídas por classes distância (10 em 10km) e encontram-se representadas na figura abaixo.



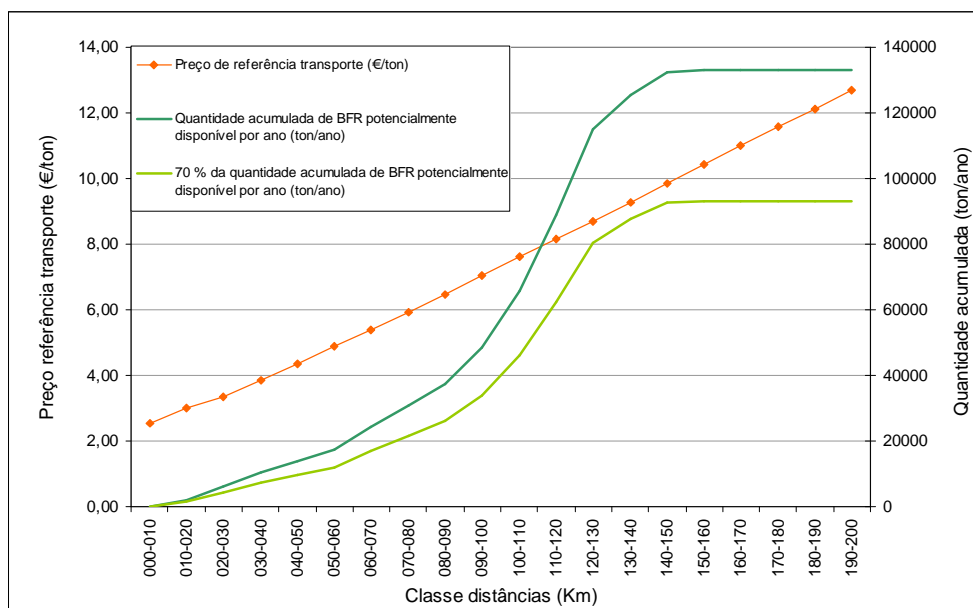
**Fig. 37 – Relação entre o preço estimado para o transporte e a quantidade acumulada de BFR de cepos, ramos e bicadas disponível por ano distribuídas por classe distância à central de Cacia**

Verificamos que o preço do transporte aumenta quanto maior for a distância ao centro fabril, partindo do pressuposto que apenas 70% da BFR existente será utilizada pode-se verificar a evolução das quantidades acumuladas disponíveis vs o custo de transporte.

Para a central de Setúbal verificamos que se utilizarmos a distância de 80km à Central e apenas 70% da quantidade acumulada de BFR potencialmente disponível por ano, conseguimos disponibilizar na Central 21600ton, o que corresponde a 14,4% das suas necessidades.

**Tabela 21 – Estimativa da quantidade de BFR resultante dos cepos, ramos e bicadas disponível por ano e por classe distância à central de Setúbal**

Classe Distância (Km)	Quantidade de BFR potencialmente disponível por ano (ton/ano)	70 % da quantidade de BFR potencialmente disponível por ano (ton/ano)	Quantidade acumulada de BFR potencialmente disponível por ano (ton/ano)	70 % da quantidade acumulada de BFR potencialmente disponível por ano (ton/ano)
000-010	0	0	0	0
010-020	2065	1446	2065	1446
020-030	4119	2883	6184	4329
030-040	4305	3014	10489	7342
040-050	3502	2451	13991	9794
050-060	3246	2272	17237	12066
060-070	7053	4937	24290	17003
070-080	6570	4599	30860	21602
080-090	6333	4433	37193	26035
090-100	11302	7911	48495	33947
100-110	17404	12183	65900	46130
110-120	22948	16064	88848	62194
120-130	26099	18269	114947	80463
130-140	10497	7348	125444	87811
140-150	6908	4836	132352	92646
150-160	617	432	132969	93078
160-170	23	16	132992	93094
170-180	0	0	132992	93094
180-190	0	0	132992	93094
190-200	0	0	132992	93094



**Fig. 38 – Relação entre o preço estimado para o transporte e a quantidade acumulada de BFR de cepos, ramos e bicadas disponível por ano distribuídas por classe distância à central de Setúbal**

### 4.3 Análise financeira para modelo de negócios dos resíduos de eucalipto

Para a análise financeira utilizou-se o modelo *LCOE* (*Levelised Cost of Electricity*) é uma ferramenta que permite comparar o custo unitário de diferentes tecnologias e mais especificamente analisar os custos do projeto, considerando os custos anuais por tonelada *versus* a energia produzida, para os diferentes tipos de BFR e para as diferentes classes de distâncias a cada Central.

O *LCOE* é definido como o preço constante por unidade de energia que faz com que o investimento atinja equilíbrio. Portanto, o *LCOE* utiliza os custos fixos e variáveis ao longo do tempo de vida do projeto, este é expresso em €/MWh.

O objetivo é a criação de um modelo financeiro para calcular o *LCOE ótimo* para as centrais de Cacia e de Setúbal. Assim foram realizadas duas análises, uma primeira onde foram agregados os custos associados à exploração da BFR (recheia, transporte e processamento) e uma segunda onde se partiu do custo pago pela BFR à porta da Central (compra).

A aplicação do modelo *LCOE* para a central de Cacia, originou um *LCOE ótimo* para o aproveitamento dos cepos a uma distância de 90km à central, de 87,072€/MWh, como se verifica na tabela seguinte. Este valor reflete o investimento num novo crivo, com um valor inicial de 50 000€, amortizado em 10 anos.

Relativamente à BFR resultante de ramos e bicadas, observa-se pela análise do gráfico uma variação proporcional entre o *LCOE* e a distância à Central.

**Tabela 22 – LCOE para os diferentes tipos de BFR para a central de Cacia**

Classe Distância (Km)	Quantidade acumulada (Ton)	<i>LCOE</i> cepos (€/MWh)	<i>LCOE</i> cepos (compra) (€/MWh)	<i>LCOE</i> ramos e bicadas (€/MWh)	<i>LCOE</i> ramos e bicadas (compra) (€/MWh)
000-010					
010-020	900,0	141,0	147,0	91	87
020-030	1178,1	126,9	132,6	92	87
030-040	2605,2	101,9	107,0	93	87
040-050	5894,8	90,7	95,2	94	87
050-060	8298,7	88,5	92,5	94	87
060-070	11237,4	87,4	90,8	95	87
070-080	13480,8	87,2	90,0	96	87
080-090	16206,9	<b>87,1</b>	89,3	97	87
090-100	18330,4	87,3	88,9	98	87
100-110	20044,4	87,7	88,6	99	87
110-120	22619,1	87,9	88,3	100	87
120-130	26200,1	88,2	88,0	101	87
130-140	35180,8	88,3	87,5	101	87
140-150	43769,1	88,6	87,2	102	87
150-160	50997,5	89,1	87,0	103	87
160-170	55810,7	89,6	86,9	104	87
170-180	56443,2	90,2	86,9	105	87
180-190	56530,2	90,9	86,9	106	87
190-200	56530,2	91,5	86,9	107	87

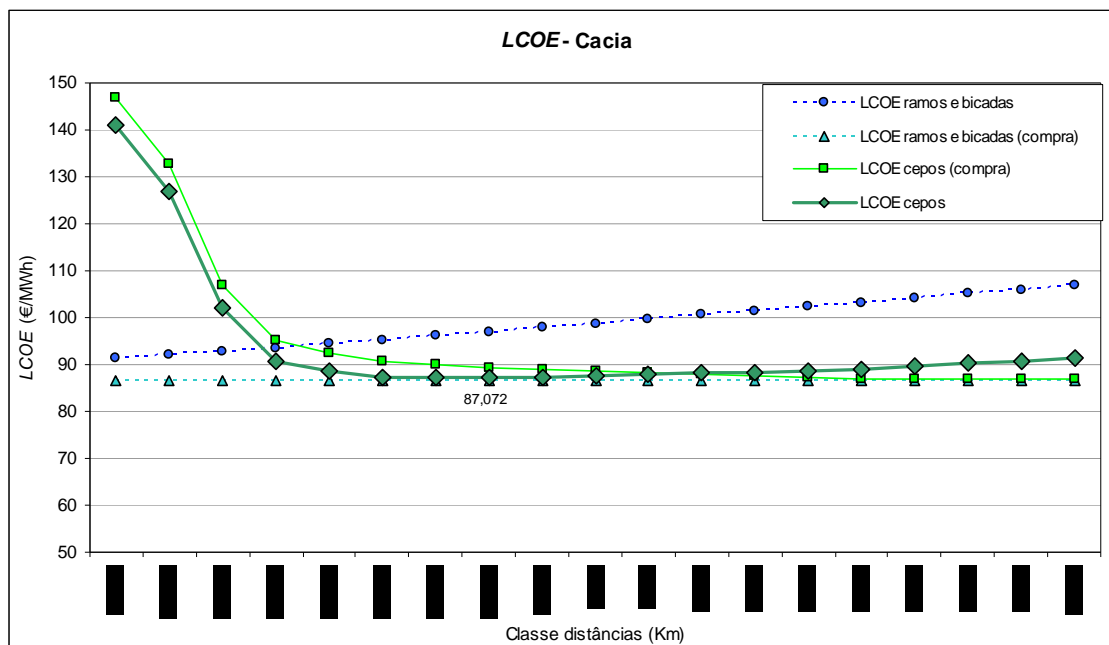


Fig. 39 – Representação dos LCOE da central de Cacia

Após a aplicação do modelo *LCOE* para a central de Setúbal, verificou-se que se atinge o *LCOE* ótimo para o aproveitamento dos cepos a uma distância de 100-110km à central, sendo esse valor de 86,698€/MWh, como se verifica na tabela seguinte. Este valor reflete o investimento num novo crivo, com um valor inicial de 50 000€, amortizado em 10 anos.

Relativamente à BFR resultante de ramos e bicadas, observa-se pela análise do gráfico uma variação proporcional entre o *LCOE* e a distância à Central.

Tabela 23 – LCOE para os diferentes tipos de BFR para a central de Setúbal

Classe Distância (Km)	Quantidade acumulada (Ton)	LCOE cepos (€/MWh)	LCOE cepos (compra) (€/MWh)	LCOE ramos e bicadas (€/MWh)	LCOE ramos e bicadas (compra) (€/MWh)
000-010					
010-020	963,8	136,9	143,0	91	87
020-030	2885,9	99,3	105,0	92	87
030-040	4895,0	92,0	97,1	93	87
040-050	6529,2	89,8	94,3	94	87
050-060	8044,1	88,7	92,7	94	87
060-070	11335,5	87,3	90,8	95	87
070-080	14401,5	86,9	89,7	96	87
080-090	17356,9	86,8	89,1	97	87
090-100	22631,2	86,7	88,3	98	87
100-110	30753,2	<b>86,7</b>	87,7	99	87
110-120	41462,5	86,8	87,2	100	87
120-130	53642,1	87,2	86,9	101	87
130-140	58540,6	87,7	86,8	101	87
140-150	61764,3	88,3	86,8	102	87
150-160	62052,2	88,9	86,8	103	87
160-170	62062,8	89,5	86,8	104	87
170-180	62062,8	90,2	86,8	105	87
180-190	62062,8	90,8	86,8	106	87
190-200	62062,8	91,4	86,8	107	87



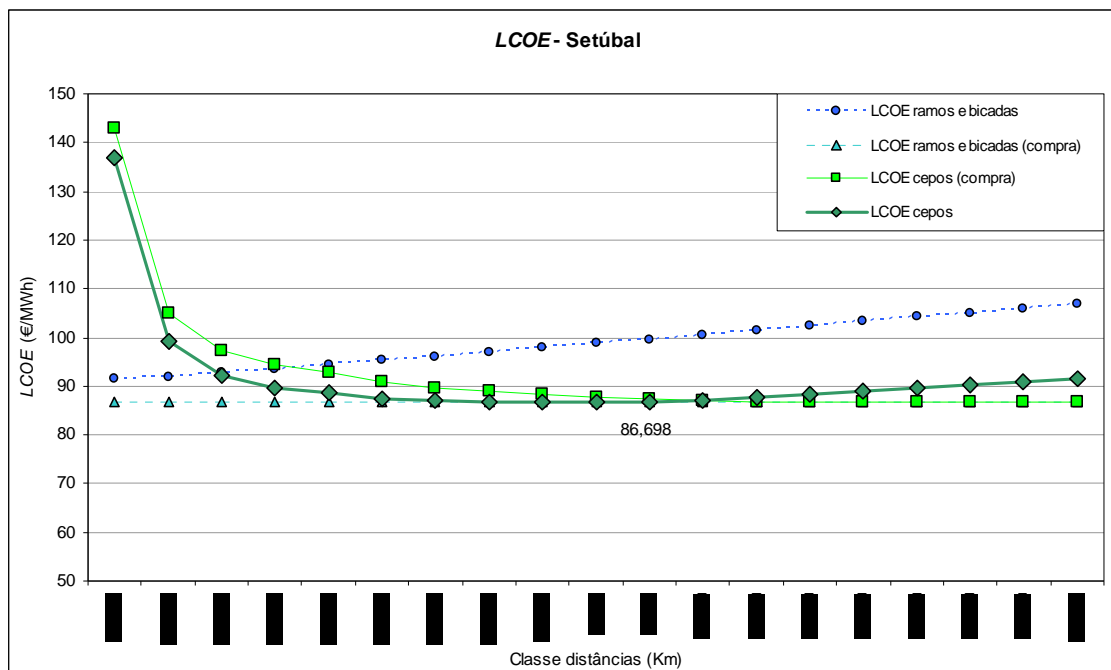


Fig. 40 – Representação dos LCOE da central de Setúbal

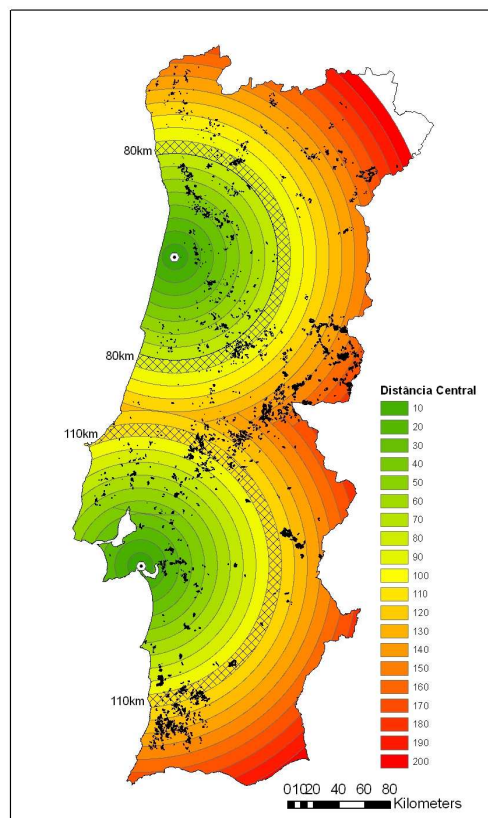
Efetuada a comparação entre as Centrais verifica-se que o *LCOE ótimo* dos cepos da central de Cacia é superior (87,072€/MWh) para uma distância inferior (90km), quando comparado com Setúbal (86,698€/MWh, 110km).

As diferenças identificadas poder-se-ão justificar pela menor quantidade de sobrantes resultantes da exploração florestal presentes na envolvente da central de Cacia e também pelos maiores teores de humidade dessa BFR.

No que se refere à BFR resultante dos ramos e bicadas, considera-se que os custos de recheia, transporte e processamento são iguais para as duas Centrais, assim ambas apresentam uma variação proporcional do *LCOE* com os mesmos valores para as mesmas distâncias.

Foi considerada na análise a tarifa média nacional praticada em 2011 para centrais dedicadas de 112,9€/MWh.





**Fig. 41 – Mapa representativo das classes de distâncias às Centrais**

A margem máxima que se estima que se consegue adquirir pela utilização de 70% dos cepos de eucalipto para produção de energia elétrica na central de Cacia, é de aproximadamente 23% para um raio de 90km, considerando para o calculo a tarifa média nacional praticada em 2011 para centrais dedicadas que foi de 112,9€/MWh, ver Tabela abaixo.

**Tabela 24 – Margem para os diferentes LCOE para a central de Cacia**

Classe Distância (Km)	Quantidade acumulada (Ton)	LCOE cepos (€/MWh)	Margem (%)
000-010			
010-020	900,0	141,0	-24,86
020-030	1178,1	126,9	-12,42
030-040	2605,2	101,9	9,75
040-050	5894,8	90,7	19,68
050-060	8298,7	88,5	21,58
060-070	11237,4	87,4	22,60
070-080	13480,8	87,2	22,80
080-090	<b>16206,9</b>	<b>87,1</b>	<b>22,88</b>
090-100	18330,4	87,3	22,69
100-110	20044,4	87,7	22,36
110-120	22619,1	87,9	22,10
120-130	26200,1	88,2	21,85
130-140	35180,8	88,3	21,77
140-150	43769,1	88,6	21,49
150-160	50997,5	89,1	21,09
160-170	55810,7	89,6	20,62
170-180	56443,2	90,2	20,07
180-190	56530,2	90,9	19,53
190-200	56530,2	91,5	18,97

A margem máxima que se estima que se consegue adquirir pela utilização de 70% dos cepos de eucalipto para produção de energia elétrica na central de Setúbal, é de aproximadamente 23% para um raio de 110km, considerando a mesma tarifa, ver Tabela abaixo.

**Tabela 25 – Margem para os diferentes LCOE para a central de Setúbal**

Classe Distância (Km)	Quantidade acumulada (Ton)	LCOE cepos (€/MWh)	Margem (%)
000-010			
010-020	963,8	136,9	-21,27
020-030	2885,9	99,3	12,05
030-040	4895,0	92,0	18,49
040-050	6529,2	89,8	20,49
050-060	8044,1	88,7	21,40
060-070	11335,5	87,3	22,64
070-080	14401,5	86,9	23,03
080-090	17356,9	86,8	23,08
090-100	22631,2	86,7	23,19
100-110	<b>30753,2</b>	<b>86,7</b>	<b>23,21</b>
110-120	41462,5	86,8	23,08
120-130	53642,1	87,2	22,80
130-140	58540,6	87,7	22,32
140-150	61764,3	88,3	21,81
150-160	62052,2	88,9	21,26
160-170	62062,8	89,5	20,70
170-180	62062,8	90,2	20,15
180-190	62062,8	90,8	19,60
190-200	62062,8	91,4	19,05

Comparando as duas centrais, verifica-se que para o LCOE ótimo, ambas têm uma margem de aproximadamente 23%, apesar do raio de ação ser de 90km para Cacia e de 110km para Setúbal.

## 5. CONCLUSÕES

Existe uma grande pressão política, social e económica para que o setor elétrico sofra alterações nas fontes de geração que utiliza presentemente. A maioria da energia elétrica produzida é gerada a partir de fontes poluentes e limitadas tendo-se tornado claro que se terá de intensificar a utilização de fontes renováveis.

A fileira da biomassa deverá ser encarada como uma área estratégica de interesse nacional que merece um planeamento global integrado, e garanta o seu escoamento para fins energéticos, numa posição de sã equilíbrio entre a oferta e a procura desta matéria-prima.

Uma das limitações do uso de biomassa como fonte de energia prende-se com o custo de transporte que resulta da sua baixa densidade, como seria previsível, pode-se concluir que para o aproveitamento de cepos, ramos e bicadas, o custo de transporte aumenta com o aumento da distância à central.

Para garantir a produção de energia utilizando BFR verifica-se a necessidade de armazenar quantidades suficientes de biomassa durante todo o ano, por um período de tempo significativo. O limite da capacidade de armazenamento, dos parques de Cacia e Setúbal, varia de acordo com a época do ano, pois estes armazenam simultaneamente biomassa e madeira. Durante o Verão o *stock* de biomassa decresce, permitindo um aumento da quantidade de madeira, durante o Inverno este cenário inverte-se.

Se as empresas adotarem as tecnologias mais adequadas para a atividade, optarem por uma produção em larga escala, melhorarem as infraestruturas florestais, otimizarem a logística do transporte e aperfeiçoarem a crivagem dos inertes, os custos poderão ser reduzidos e a quantidade de matéria-prima disponível aumenta significativamente.

Para o desenvolvimento do mercado da BFR será necessário que se implementem sistemas de controlo de proveniência, isto é, de métodos que permitam conhecer a sua origem e as sucessivas transformações a que foi sujeita. A BFR já tem uma diferenciação clara no seu aproveitamento energético, de outras biomassas vegetais, sendo paga a valores diferentes dependendo da espécie em causa e do seu grau de transformação (em bruto vs estilha).

O teor de humidade é outra variável de grande influência na hora de definir o preço da BFR, tanto pelo custo da secagem posterior como pelo preço a pagar quando se mede a biomassa em peso. Ainda não se definiram os preços ajustados a esta variável, nem se observa um procedimento rigoroso sobre a sua determinação.

Os benefícios económicos da utilização da BFR podem ser analisados sob perspetivas diferentes, nomeadamente na do proprietário florestal, dos empreiteiros, dos produtores de energia e da sociedade. Se as vantagens ambientais forem integradas nos preços de mercado, no que se refere à redução de emissões de GEE, os sistemas de exploração de BFR podem ser mais atrativos do que os combustíveis fósseis.

Verificou-se após a análise dos dados disponibilizados que os cepos de eucalipto são mais energéticos que os ramos e bicadas, estimou-se o valor de 0,909MWh/ton para a BFR resultante de cepos, e 0,626MWh/ton para a resultante de ramos e bicadas.

No que se refere à aplicação do modelo *LCOE* para a BFR resultante dos ramos e bicadas, considerando-se que os custos de recheia, transporte e processamento são iguais para as duas Centrais, existindo uma variação proporcional do *LCOE* para ambas.

Comparando os resultados obtidos na utilização do modelo *LCOE*, verificou-se que para a central de Cacia o *LCOE* ótimo dos cepos é de 87,072€/MWh, para uma distância até 90km da central, enquanto que para Setúbal o *LCOE* ótimo é inferior, apresentando um valor de 86,698€/MWh para uma distância até 110km. O aproveitamento de cepos, apesar das limitações devido à grande percentagem de inertes, mostrou-se viável, mesmo com a instalação de um novo crivo.

Relativamente à quantidade de BFR esta é superior na envolvente de Setúbal, comparativamente com Cacia. Verificamos que para a central de Cacia, onde o consumo anual previsto é de 200000ton, as estimativas de BFR resultante dos cepos, considerando a distância de 90km, são de aproximadamente 16200ton/ano, o que corresponde a 8,1% do total de BFR necessária para a central operar. Para o centro fabril de Setúbal, verificamos que para um consumo anual previsto é de 150000ton, as estimativas de BFR resultante dos cepos, considerando a distância de 110km, são de aproximadamente 30700ton/ano, o que corresponde a 20,5% do total de BFR necessária para a central operar.

Para as propriedades geridas pelo Grupo Portucel, o *LCOE* ótimo tem para ambas as centrais uma margem aproximadamente de 23%, apesar de Cacia ter um menor raio de ação (90km) comparativamente com Setúbal (110km).

Nesta análise os cepos seriam responsáveis por 20% do autoabastecimento da central de Setúbal, e 8% da central de Cacia, se mantiver o mesmo regime tarifário, mostrando-se o seu aproveitamento viável.

## 5.1 Temas de desenvolvimento futuro

Nos próximos tempos prevê-se que haja um considerável aumento da procura da biomassa florestal para fins energéticos. Com esta crescente procura, e de modo a que os proprietários possam gerar mais rendimentos com a biomassa florestal primária, é necessário que haja adaptações à silvicultura que se pratica atualmente. Para tal, é necessário desenvolver a experimentação e a investigação.

Embora estas atividades ainda se encontrem, numa fase inicial de desenvolvimento, os temas como a otimização das densidades, a aposta em culturas energéticas, uma maior e melhor mecanização, a gestão florestal otimizada e o desenvolvimento de novas técnicas e tecnologias para otimizar o aproveitamento de biomassa, são temas que merecem ser desenvolvidos futuramente.

Seria interessante não considerar raios fixos de 10km, mas sim realizar a análise com as distâncias reais às unidades de gestão, ajustando os custos de transporte. Também seria vantajoso identificar a fase do ciclo produtivo em que se encontra cada propriedade, possibilitando calendarizar com precisão as diferentes época de recolha da BFR. Finalmente expandir a análise a outras espécies e não só ao eucalipto.

## BIBLIOGRAFIA

- Andrade, A. B. L. e G. M. Lopes (2007), "Planeamento e Produção de Electricidade Biomassa", Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Associação de Energias Renováveis - APREN (2010), "Roteiro Nacional das Energias Renováveis Aplicação da Diretiva 2009/28/CE - Versão Final".
- Agência para a Energia (ADENE/INETI) (2001), Fórum "Energias Renováveis em Portugal"- Relatório Síntese.
- Avelar, T., N. Duarte, C. Santos, R. Perestrelo, C. Capela, M. Teixeira e C. I. Seita (2005), "Biomassa e Energias Renováveis na Agricultura, Pescas e Florestas – Ponto de Situação"; Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e Pescas, [http://www.energiasrenovaveis.com/images/upload/RELATORIO\\_BIOMASSA.pdf](http://www.energiasrenovaveis.com/images/upload/RELATORIO_BIOMASSA.pdf), acedido em 21 de Outubro 2011.
- Berndes G. (2006), "Contribution of Renewables to Society" in *Renewables-Based Technology Sustainability Assessment*, Dewulf, J. e H. V. Langenhove; (editors), Cap. 1 – pp. 3 a 16, Ghent University, Belgium.
- Carvalho, J. L. (2010a), Apresentação "Posicionamento da EnerForest no Mercado de Biomassa e na Relação com a EnerPulp", Enerforest – Grupo PortucelSoporcel.
- Carvalho, J. L. (2010b), Apresentação "Produção de Biomassa para Energia", Enerforest – Grupo PortucelSoporcel.
- Carvalho, J. L. (2012), Apresentação Biomassa t Portucel Soporcel Group - Swedish Woodfuel Association".
- Carvalho, M.G.M.S. (2004) Greenpro, Bioenergia - manual sobre tecnologias, projecto e instalação, IST, DGS, Ecofys, Altener e CE.
- Centro de Biomassa para Energia – CBE (2008a), "Avaliação dos custos de aproveitamento da biomassa florestal", Multifuncionalidade da Floresta através da Exploração dos Recursos Florestais e Silvopastorícia, Lousã.
- Centro de Biomassa para Energia – CBE (2008b), "Utilização da biomassa florestal residual para aproveitamento energético", Miranda do Corvo.
- Centro de Biomassa para Energia – CBE (2009), "A biomassa florestal como fonte de energia renovável em Portugal", Lumiar.

Comissão das Comunidades Europeias – CCE (1997), ENERGIA PARA O FUTURO: FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS, Livro Branco para uma Estratégia Comunitária e um Plano de Acção.

Comissão das Comunidades Europeias - CCE (2005a), “Comunicação da Comissão - Plano de acção Biomassa” {SEC(2005) 1573} COM(2005) 628 final  
[http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/site/pt/com/2005/com2005\\_0628pt01.pdf](http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/site/pt/com/2005/com2005_0628pt01.pdf), acedido em 21 de Outubro 2011.

Comissão das Comunidades Europeias - CCE (2005b), “The support of electricity from renewable energy sources”, “Promoção da electricidade produzida a partir de fontes de energia” {SEC(2005) 1571} COM (2005) 627,  
<[http://ec.europa.eu/energy/res/biomass\\_action\\_plan/doc/2005\\_12\\_07\\_comm\\_biomass\\_electricity\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/energy/res/biomass_action_plan/doc/2005_12_07_comm_biomass_electricity_en.pdf) acedido em 21 de Junho de 2012.

Comissão das Comunidades Europeias - CCE (2006), “LIVRO VERDE, Estratégia europeia para uma energia sustentável, competitiva e segura” {SEC(2006) 317} COM(2006) 105.

Cortez, C. L., S. M. S. G. Velázquez, S. T. Coelho, J. R. Moreira, F. C. B. Amendola e F. Gavioli (2008), Análise do processo produtivo do eucalipto no sistema “Short rotation para uso como combustível em uma usina termoelétrica”.

Decreto-Lei - DL nº33-A/2005 (2005), de 16 de Fevereiro, que actualiza os valores de remuneração da electricidade produzida a partir de recursos renováveis, Diário da República nº33, I Série-A.

Dias, J. (2002), “Utilização da Biomassa: Avaliação dos Resíduos e Utilização de Pellets em Caldeiras Domésticas”, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

Direcção Geral de Energia e Geologia – DGEG (2012a), <http://www.dgeg.pt/> acedido em 21 de Junho 2012.

Direcção Geral de Energia e Geologia – DGEG (2012b), “Renováveis - estatísticas rápidas”, janeiro 2012, Nº 83.

Direcção Nacional das Fileiras Florestais – DNFF (2010), “Culturas Energéticas Florestais – Primeira abordagem do levantamento da situação actual”.

Direcção Nacional de Gestão Florestal – DNGF (2010), “5º Inventário Florestal Nacional Portugal Continental 2005-2006 – relatório final”

Directiva 2001/77/CE (2001), relativa à promoção da electricidade produzida a partir de fontes de energia renováveis no mercado interno da electricidade, Jornal Oficial das Comunidades Europeias L 283, 27 de Setembro de 2001.

Directiva 2009/28/CE (2009), relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis, Jornal Oficial das Comunidades Europeias L 140/16 de 23 de Abril de 2009.

- Domingues, R.M.A., Sousa, G.D.A., Freire C.S.R., Silvestre, A.J.D., Pascoal Neto, C. (2009), “*Eucalyptus globulus* biomass residues from pulping industry as a source of high value triterpenic compounds”, Industrial Crops and Products, journal homepage: [www.elsevier.com/locate/indcrop](http://www.elsevier.com/locate/indcrop) acedido em 26 de Junho 2012.
- Enes P. e Dans del Valle F., com a participação de Martínez, B. M. (2007) “Enersilva - Promoção do uso da biomassa florestal para fins energéticos no sudoeste da Europa (2004-2007)”. Projecto Enersilva.
- Entidade Reguladoras dos Serviços Energéticos – ERSE (2012), “Informação sobre produção em regime especial (PRE) ” Portugal Continental Dados actualizados a junho de 2012.
- Faaij A. (2006), “Assessment of the Energy Production Industry: Modern Options for Producing Secondary Energy Carriers from Biomass” in *Renewables-Based Technology Sustainability Assessment*, Dewulf, J. e H. V. Langenhove; (editors), Cap. 13 – pp. 209 a 230, Ghent University, Belgium.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO (2010), “Forest Products – Annual Market Review 2009-2010” - Geneva Timber and Forest Study Paper 25, Project Manager Ed Pepke.
- Formosinho, S., J. Cavalheiro e C. Pio (2005), “Relatório de actualização dos processos de co-incineração de resíduos em articulação com os CIRVER”.
- Gazzoni D. L. (2012), “Energia Alternativa – Energias Renováveis”, <http://www.biodieselbr.com/energia/alternativa/energia-renovavel.htm> acedido em 5 de Fevereiro 2012.
- German Solar Energy Society - GSES, Ecofys (2005), “*Planning and installing bioenergy systems: a guide for installers, architects and engineers*”, Earthscan Publications, 232 pp.
- Gomes C. (2008) “Avaliação técnica e económica da produção de estilha”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- Gonçalves, M. M. S. (2010), “Análise ambiental e energética da produção de *Eucalyptus globulus* para conversão em energia eléctrica” Dissertação para a obtenção de grau de mestre em Engenharia do Ambiente, Instituto Superior Técnico.
- Greenpeace International e European Renewable Energy Council – EREC (2008), “energy [r]evolution A SUSTAINABLE GLOBAL ENERGY OUTLOOK”
- Grupo Portucel (2010), “Pedido de cotação para transporte”, Área de Logística & Transportes de gPS.
- Grupo Portucel (2012a), “Demonstrações financeiras consolidadas e relatórios do Governo da sociedade 2011”.
- Grupo Portucel (2012b), “Relatórios de gestão 2011”.



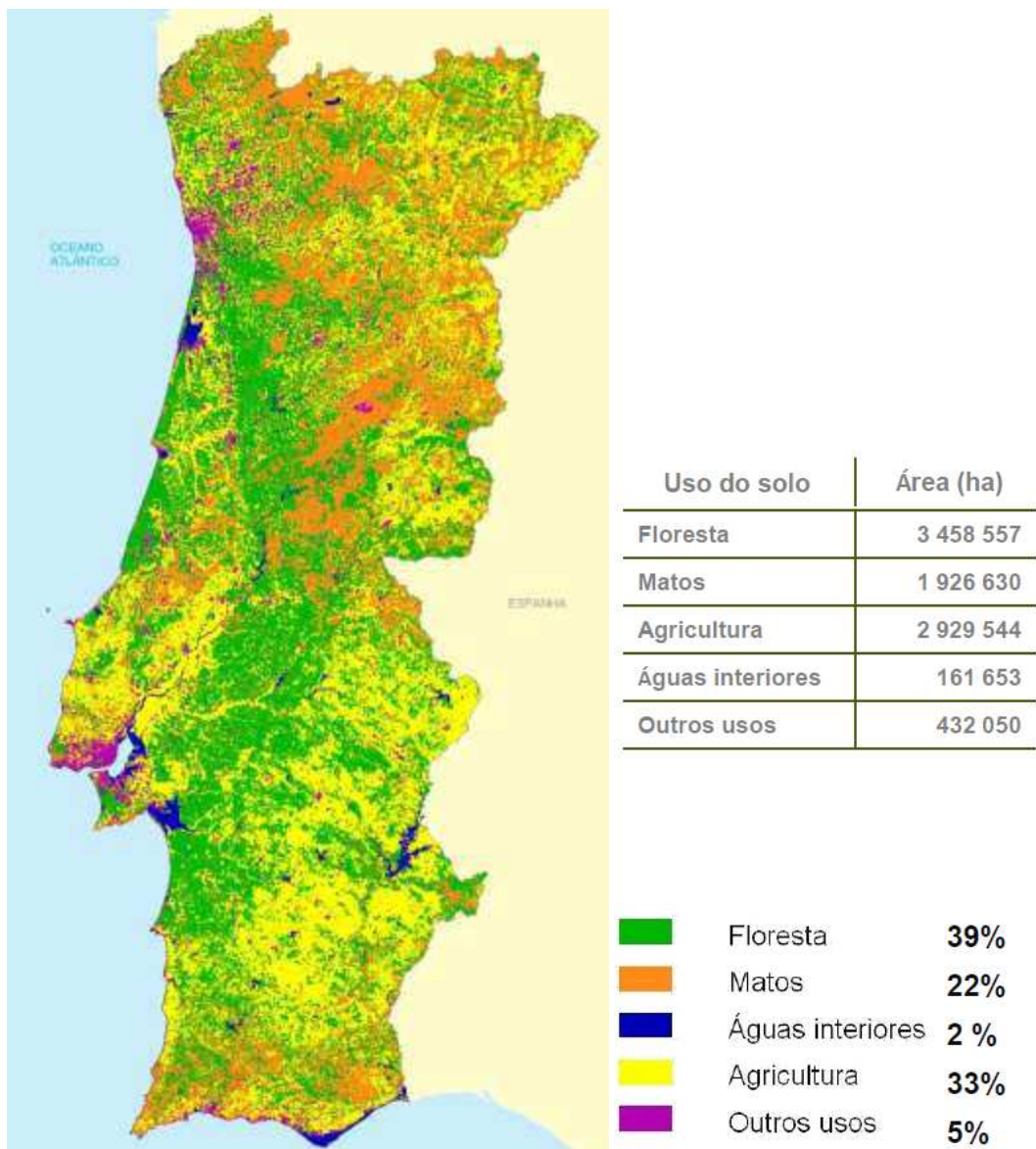
- Haberl H. e Erb K. (2006), "Assessment of Sustainable Land Use in Producing Biomass", in *Renewables-Based Technology Sustainability Assessment*, Dewulf, J. e H. V. Langenhove; (editors), Cap. 11, pp. 175 a 192, Ghent University, Belgium.
- Hakkila, P (2004) "Developing technology for large-scale production of forest chips", Wood energy technology programme 1999-2003/Final Report, VTT/TEKES, Helsinki, 2004.
- Heinrichs, A. (2011), *Environment\_at\_Risk Sustaining Earth's Energy Resources*, Published by Marshall Cavendish Corporation. Contents (Seven) Biomass: New Life for an Old Fuel Pag. 72.
- International network for sustainable energy - Inforse (2012), "Biomass", <http://www.inforse.org/europe/dieret/Biomass/biomass.html>, acedido em 21 de Junho 2012.
- International Energy Agency - IEA (2011a), Key world energy statistics 2011 [http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2011/key\\_world\\_energy\\_stats.pdf](http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2011/key_world_energy_stats.pdf), acedido em 21 de Junho 2012.
- International Energy Agency - IEA (2011b), World energy outlook 2011, [www.worldenergyoutlook.org](http://www.worldenergyoutlook.org) acedido em 21 de Junho 2012.
- Lopes, M. D. S. (2011), "Elaboração e análise de projectos de investimento" Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP.
- Luger E. (1999), *Eucalypt Introduction as Energy Crop*, Áustria.
- Mendonça M. e M. Sacadura (2005), "Biomassa em Portugal" Curso de Engenharia Eléctrica e Electrónica – Ambiente e Energias Alternativas Universidade do Algarve – Escola Superior de Tecnologia – Engenharia Eléctrica e Electrónica <http://miguel675.tripod.com/sitebuildercontent/sitebuilderfiles/biomassa1.pdf> acedido em 12 de Maio de 2012.
- António N. C. (2012), "Ficha do Eucalipto – Naturlink), <http://naturlink.sapo.pt/Natureza-e-Ambiente/Fichas-de-Especies/content/Ficha-do-Eucalipto?bl=1>, acedido em 22 de Setembro de 2012.
- Netto C. P. C. A. (2008), "Potencial da biomassa florestal residual para fins energéticos de três concelhos do distrito de Santarém", Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, Portugal.
- Nunes, M. F. S. (2012) "Cadeias de Abastecimento de Biomassa" - Estudo de Caso no âmbito de um projeto de investigação científica de nome "BIOLOG – Otimização de modelo de logística para recolha e processamento de biomassa florestal e agrícola". Dissertação de Mestrado Mestrado em Engenharia de Sistemas Universidade do Minho - Escola de Engenharia.
- Resolução do Conselho de Ministros nº169 – RCM (2005), de 24 de Outubro, Estratégia nacional para a energia, Diário da República nº204, I Série-B.

- Resolução do Conselho de Ministros nº53 – RCM (2005), de 3 de Março, Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão (PNALE) relativo ao período de 2005-200 (PNALE) Diário da República nº102, I Série-B.
- Resolução do Conselho de Ministros nº 1/2008, de 4 de Janeiro de 2008, Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão relativo ao período 2008-2012 (PNALE II), Diário da República nº3, I Série.
- Resolução do Conselho de Ministros nº 65/2006, de 26 de Maio, Plano Nacional de Defesa da Floresta contra Incêndios, Diário da República nº102, I Série-B.
- Resolução do Conselho de Ministros n.º 114 – RCM (2006), de 15 de Setembro, Estratégia Nacional para as Florestas, Diário da República nº179, I Série-B (RCM n.º 114/2006).
- Rodrigues J. R. (2012), Apresentação EnergyLive Expo Paine! Valorização do Potencial Energético - Recursos Endógenos, “RECURSOS, ENERGIA E ECONOMIA - A Energia e a Floresta”, Grupo Portucel Soporcel, Centro Congressos de Lisboa, 23/Mar/2012.
- Rodrigues, V. P. (2009), Apresentação “Análise de custos para diferentes soluções de transporte de biomassa florestal” Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Mecânica.
- Quaak P., H. Knoef e H. Stassen (1999), “Energy from Biomass - A Review of Combustion and Gasification Technologies”, World Bank Technical Paper nº422 - Energy Series.
- Silva, M. T. C. (2009), “Análise do balanço entre sequestro e emissão de CO<sub>2</sub> resultante do circuito de produção e consumo de biomassa florestal numa central de co-geração”, Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Bioenergia, Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia.
- Silva, V. R. e R. Barreira, (2011), “A Energia da Floresta Ibérica - Caracterização do Mercado e Quadro Legal”; WWF, <http://www.pluridoc.com/Site/FrontOffice/default.aspx?module=Files/FileDescription&ID=6260&state=FVC>, acedido em 04 de Novembro 2011.
- Sousa, P. L. N. (2009), “Desenvolvimento Tecnológico do Aproveitamento Energético da Biomassa a Nível Industrial”, Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Química, Instituto Superior Técnico.
- van Sark W. G. J. H. M, M. K. Patel, A. P. C. Faaij e M. M. Hoogwijk (2006), “*The Potential of Renewables as a Feedstock for Chemistry and Energy*”, in *Renewables-Based Technology Sustainability Assessment*, Dewulf, J. e H. V. Langenhove; (editors), Cap. 2, pp. 19 a 38, Ghent University, Belgium.
- Tolosana E. e Ambrósio Y. (2008), “Guía de la Maquinaria para el aprovechamiento y elaboración de biomasa forestal”, E.T.S.I. Montes y E.U.I.T Forestal, Universidad Politécnica de Madrid. Editado por Cesefor.

Vega, D., Dopazo, R. e Ortiz, L. (2010), “Manual de cultivos energéticos”, ISBN: 678-84-95046-45-1, Gamesal, Vigo.

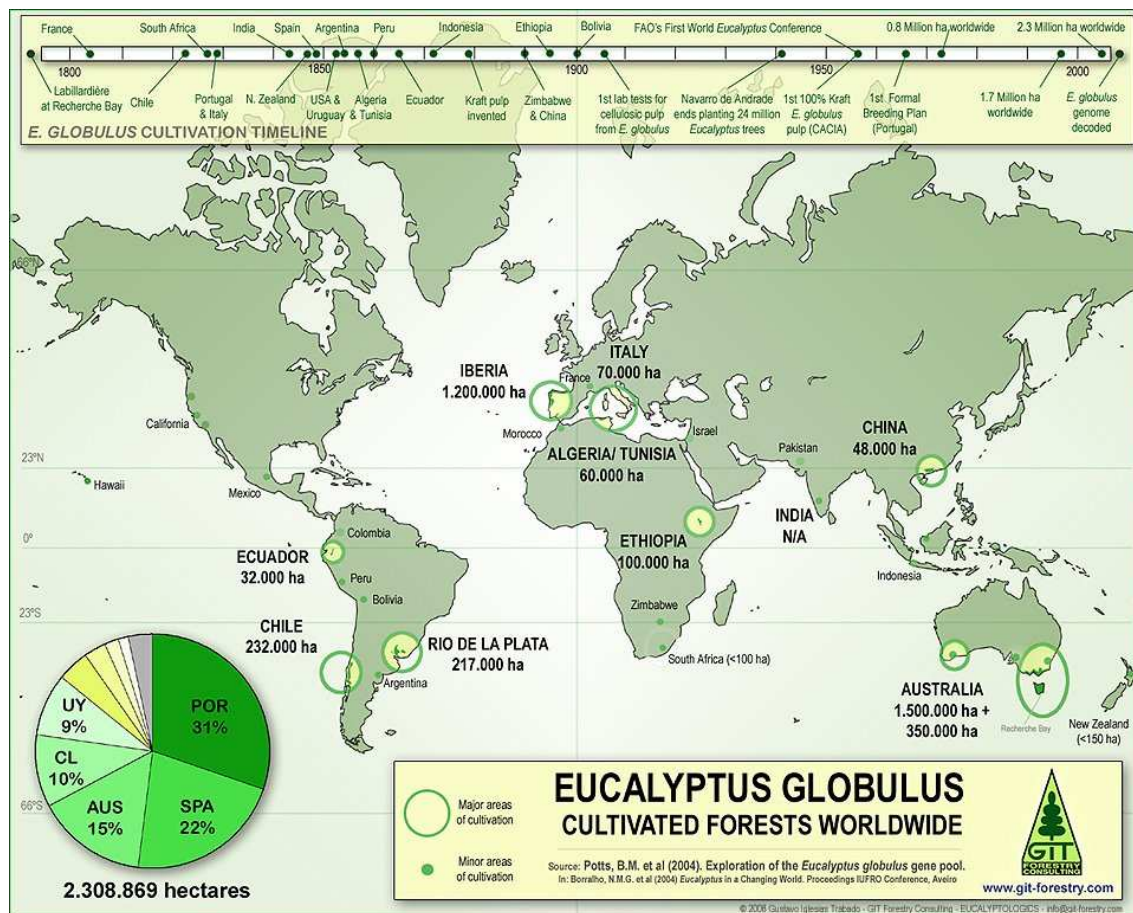
## ANEXOS

## 1. Mapa de uso/ocupação do solo



(Fonte: DNGF, 2010)

## 2. *Eucalyptus globulus* – cultivated forests worldwide







#### 4. Áreas dos povoamentos de eucalipto, segundo a composição específica

Região PROF	Composição	Área (ha)	Erro%
Alto Minho	puro	11.087	9,1
Alto Minho	dominante	7.436	11,2
Alto Minho	puro/dominante jovem	359	> 40
Baixo Minho	puro	19.366	6,8
Baixo Minho	dominante	8.918	10,2
Baixo Minho	puro/dominante jovem	201	> 40
Tâmega	puro	19.035	6,8
Tâmega	dominante	5.803	12,7
Tâmega	puro/dominante jovem	236	> 40
AMP e Entre Douro e Vouga	puro	33.436	4,8
AMP e Entre Douro e Vouga	dominante	9.676	9,7
AMP e Entre Douro e Vouga	puro/dominante jovem	154	> 40
Barroso e Padrela	puro	1.917	22,3
Barroso e Padrela	dominante	112	> 40
Barroso e Padrela	puro/dominante jovem	71	> 40
Nordeste	puro	4.991	13,8
Nordeste	dominante	338	> 40
Nordeste	puro/dominante jovem	1.132	29,1
Douro	puro	3.396	16,8
Douro	dominante	281	> 40
Douro	puro/dominante jovem	262	> 40
Centro Litoral	puro	82.475	3,2
Centro Litoral	dominante	18.802	7
Centro Litoral	puro/dominante jovem	5.368	13,3
Dão Lafões	puro	31.536	5,3
Dão Lafões	dominante	9.879	9,7
Dão Lafões	puro/dominante jovem	4.247	15
Pinhal Interior Norte	puro	35.859	4,8
Pinhal Interior Norte	dominante	10.893	9,2
Pinhal Interior Norte	puro/dominante jovem	2.308	20,3
Beira Interior Norte	puro	7.857	11
Beira Interior Norte	dominante	462	> 40
Beira Interior Norte	puro/dominante jovem	1.950	22,2
Beira Interior Sul	puro	41.839	4,5
Beira Interior Sul	dominante	2.246	20,6
Beira Interior Sul	puro/dominante jovem	2.402	19,9
Pinhal Interior Sul	puro	18.218	6,9
Pinhal Interior Sul	dominante	1.093	29,5
Pinhal Interior Sul	puro/dominante jovem	1.323	26,8
Ribatejo	puro	91.248	3
Ribatejo	dominante	6.484	12,1
Ribatejo	puro/dominante jovem	9.719	9,9
Oeste	puro	31.367	5,1
Oeste	dominante	2.566	19,2
Oeste	puro/dominante jovem	1.228	27,9
AML	puro	13.037	8,4
AML	dominante	1.484	25,4
AML	puro/dominante jovem	1.030	30,5
Alto Alentejo	puro	35.222	5,1
Alto Alentejo	dominante	883	32,9
Alto Alentejo	puro/dominante jovem	7.194	11,5
Alentejo Central	puro	20.458	6,8
Alentejo Central	dominante	1.065	30
Alentejo Central	puro/dominante jovem	4.570	14,4
Alentejo Litoral	puro	41.385	4,6
Alentejo Litoral	dominante	3.546	16,4
Alentejo Litoral	puro/dominante jovem	11.632	9
Baixo Alentejo	puro	8.218	10,8
Baixo Alentejo	dominante	547	> 40
Baixo Alentejo	puro/dominante jovem	14.616	8
Algarve	puro	14.651	8
Algarve	dominante	456	> 40
Algarve	puro/dominante jovem	9.942	9,7

(Fonte: DNGF, 2010)



## 5. Biomassa total de eucalipto segundo a composição específica dos povoamentos

RPROF	Composição	Biomassa total ton/ha	Erro_BiomTot_ton/ha %	Biomassa total k ton	Erro_BiomTot_kton %
Baixo Minho	puro	58,7	22,4	1.136	23,4
Baixo Minho	dominante	43,9	> 40	392	> 40
Vouga	puro	72,7	> 40	2.432	> 40
Vouga	dominante	74,3	> 40	719	> 40
Centro Litoral	puro	57,5	18,4	4.742	18,7
Centro Litoral	dominante	51,8	25,2	973	26,1
Dão Lafões	puro	60,9	27,7	1.919	28,2
Dão Lafões	dominante	102,9	> 40	1.016	> 40
Pinhal Interior Norte	puro	36,3	28,1	1.301	28,5
Pinhal Interior Norte	dominante	36	> 40	392	> 40
Beira Interior Sul	puro	30,1	21	1.261	21,5
Pinhal Interior Sul	puro	33,6	29,6	613	30,4
Ribatejo	puro	33,4	18,7	3.049	18,9
Ribatejo	dominante	26,5	> 40	172	> 40
Oeste	puro	73,6	28,3	2.309	28,8
Alto Alentejo	puro	18,6	37,8	654	38,1
Alentejo Central	puro	32,4	37,2	662	37,8
Alentejo Litoral	puro	25,8	> 40	1.066	> 40
Algarve	puro	32,0	> 40	469	> 40

(Fonte: DNGF, 2010)

## 6. Caracterização da espécie Eucalipto (*Eucalyptus* spp.)

O Eucalipto *Eucalyptus globulus* é uma angiospérmica dicotiledónea, também denominada uma folhosa. Pertence à ordem das Mirtale, família das Mirtáceas, género *Eucalyptus*, sendo a espécie *Eucalyptus globulus* a mais comum e economicamente importante em Portugal. Existem em todo o mundo cerca de 600 espécies diferentes de eucalipto. Esta que predomina em Portugal é originária da Tasmânia e Austrália.

### DESCRIÇÃO

Árvore de grande porte, com uma altura que pode atingir os 70 - 80 m em árvores adultas velhas. O tronco é alto e direito se a árvore estiver inserida num povoamento florestal. A casca é lisa, cinzenta ou castanha. As folhas são persistentes e têm forma e aspeto diferentes conforme a árvore está numa fase de crescimento juvenil ou adulta. As folhas juvenis são sésseis, de forma ovada, cor glauca e com inserção, no ramo, oposta. As folhas adultas são alternadas, longas e lanceoladas, tendo um pecíolo comprido e cor verde brilhante. As flores são grandes, sésseis e de cor branca. Os frutos são cápsulas lenhosas.

### DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA

Originário da Austrália e Tasmânia. Foi introduzido em Portugal em meados do século XIX. Existe igualmente em Espanha e em França.

Em Portugal, prefere regiões litorais e de baixa altitude, inferior a 700 m.

### CONDIÇÕES AMBIENTAIS

Prefere climas temperados húmidos. Suporta mal o ensombramento. Tolerar bem todos os tipos de solos, com exceção aos calcários. Resiste bem ao encharcamento e mal ao vento.

### PROPAGAÇÃO

Propaga-se por semente e por estaca, em estufa. Quanto se corta um eucalipto, volta a rebentar por toija nascendo cerca de três a quatro varas; são chamados os povoamentos de 2ª rotação.

### CURIOSIDADES

A esta espécie de Eucalipto foi dado o nome de *globulus* em virtude dos seus frutos lembrarem os antigos botões do vestuário.

Devido às condições ecológicas excecionais que esta espécie pode encontrar entre nós, existem muitos exemplares de grande porte, os maiores dos quais ultrapassam os 10 metros de perímetro à altura do peito.

### UTILIZAÇÕES

A sua principal utilização é a produção de madeira para pasta celulósica. As suas flores são também muito procuradas pelas abelhas para produção de mel.

As folhas de *Eucalyptus globulus* possuem um óleo essencial denominado cineol ou eucaliptol que tem propriedades balsâmicas e antissépticas. É empregue, na forma de infusão ou de rebuçados, contra bronquites e catarrhos. Alternativamente, é possível ferver um conjunto de folhas em água, e inalar os vapores, com uma toalha na cabeça.

(Fonte: António, 2012)

## 7. Quadro de consumo nacional de biomassa florestal

Consumidores	Lic	Estado	Consumo (1.ano <sup>o</sup> H=35%)		Consumo de biomassa residual (1.ano <sup>o</sup> H=35%)					Potência MVA
	DGEG		Biomassa	Rolaria	2006	2010	2012	2015	2020	
<b>Centrais dedicadas I</b>			<b>1.268.832</b>	-	<b>175.748</b>	<b>1.147.336</b>	<b>1.268.832</b>	<b>1.268.832</b>	<b>1.268.832</b>	<b>105</b>
Bio Mortágua	259	operação	115.000	-	115.000	115.000	115.000	115.000	115.000	10
Bio Constância	993	operação	140.000	-	-	140.000	140.000	140.000	140.000	13
Centrolva	232	operação	60.748	-	60.748	60.748	60.748	60.748	60.748	5
Bio Figueira da Foz	997	operação	400.000	-	-	400.000	400.000	400.000	400.000	30
Enerpulp Cacia	1031	operação	145.794	-	-	145.794	145.794	145.794	145.794	12
Enerpulp Setúbal	1030	operação	145.794	-	-	145.794	145.794	145.794	145.794	12
CTSM Oliveira de Azemeis	751	suspensa	121.495	-	-	-	121.495	121.495	121.495	10
Rodão Power	934	operação	140.000	-	-	140.000	140.000	140.000	140.000	13
<b>Centrais dedicadas II</b>			<b>1.166.355</b>	-	<b>60.748</b>	<b>1.166.355</b>	<b>1.166.355</b>	<b>1.166.355</b>	<b>1.166.355</b>	<b>96</b>
L1. Probiomass V.Real/Vale Paços		aprovadas	133.645	-	-	133.645	133.645	133.645	133.645	11
L3. Viana do Castelo e Braga		aprovadas	121.495	-	-	121.495	121.495	121.495	121.495	10
L4. TermoFlorestal V.Castelo/Braga	1123	aprovadas	60.748	-	-	60.748	60.748	60.748	60.748	5
L5. EGF/Mesquita Alijó		aprovadas	133.645	-	-	133.645	133.645	133.645	133.645	11
L6. EcoFactor C.Branco/Guarda		operação	24.299	-	24.299	24.299	24.299	24.299	24.299	2
L8. Viseu e Guarda		aprovadas	121.495	-	-	121.495	121.495	121.495	121.495	10
L9. Nutroton Viseu		aprovadas	60.748	-	-	60.748	60.748	60.748	60.748	5
L10. Palser C.Branco	1134	aprovadas	36.449	-	36.449	36.449	36.449	36.449	36.449	3
L11. Enerwood - Covilhã		aprovadas	121.495	-	-	121.495	121.495	121.495	121.495	10
L12. Enerwood - Setúbal		aprovadas	121.495	-	-	121.495	121.495	121.495	121.495	10
L13. Enerwood - Portalegre		aprovadas	121.495	-	-	121.495	121.495	121.495	121.495	10
L14. Tecneira - Rio Maior		aprovadas	72.897	-	-	72.897	72.897	72.897	72.897	6
L15. Tecneira - Vila Mafra		aprovadas	36.449	-	-	36.449	36.449	36.449	36.449	3
<b>Centrais dedicadas III</b>			<b>1.020.779</b>	-	-	-	<b>619.845</b>	<b>619.845</b>	<b>619.845</b>	<b>84.018</b>
Bio Cabeceiras de Basto	861	projecto	133.645	-	-	-	133.645	133.645	133.645	11
Bio Gondomar	865	projecto	175.500	-	-	-	175.500	175.500	175.500	14
Bio Monchique	932	projecto	189.800	-	-	-	189.800	189.800	189.800	16
Bio Mortágua (nova)	810	projecto	242.991	-	-	-	-	-	-	20
Triquímica - Sintra	956	projecto	12.150	-	-	-	-	-	-	1
Nutroton (Isotrida) Anadia	986	projecto	121.495	-	-	-	-	-	-	10
Alvasado Energia	1056	projecto	12.150	-	-	-	-	-	-	1
Forestech - Alôzer	1126	projecto	12.150	-	-	-	-	-	-	1
Bio Oleiros	865	projecto	120.900	-	-	-	120.900	120.900	120.900	10
<b>Cooperação</b>			<b>715.910</b>	-	<b>715.910</b>	<b>715.910</b>	<b>715.910</b>	<b>715.910</b>	<b>715.910</b>	<b>50.5682</b>
Portugal Viana	345	operação	97.500	-	97.500	97.500	97.500	97.500	97.500	8
Enerpulp Cacia	5	operação	110.370	-	110.370	110.370	110.370	110.370	110.370	6
Enerpulp Figueira da Foz	67	operação	219.960	-	219.960	219.960	219.960	219.960	219.960	15
Enerpulp Setúbal	121	operação	168.480	-	168.480	168.480	168.480	168.480	168.480	12
Calme Constância	92	operação	54.600	-	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	4
Celjejo Ródio		operação	-	-	-	-	-	-	-	-
Sonae	6	operação	65.000	-	65.000	65.000	65.000	65.000	65.000	5
<b>Pellets</b>			<b>169.500</b>	<b>1.130.000</b>	<b>126.000</b>	<b>169.500</b>	<b>169.500</b>	<b>169.500</b>	<b>169.500</b>	-
Gesfinu Lousada		operação	21.000	140.000	-	21.000	21.000	21.000	21.000	-
Gesfinu Mortágua		operação	21.000	140.000	-	21.000	21.000	21.000	21.000	-
Gesfinu Alôzer		operação	21.000	140.000	-	21.000	21.000	21.000	21.000	-
Enerpellets		operação	21.000	140.000	-	21.000	21.000	21.000	21.000	-
Visabeira		operação	21.000	140.000	-	21.000	21.000	21.000	21.000	-
EnerMontijo		operação	21.000	140.000	-	21.000	21.000	21.000	21.000	-
Oleiros		construção	15.000	100.000	-	-	15.000	15.000	15.000	-
Stelap - Vidago		construção	13.500	90.000	-	-	13.500	13.500	13.500	-
Setúbal e outros		construção	15.000	100.000	-	-	15.000	15.000	15.000	-
<b>Cimenteiras</b>			<b>35.000</b>	-	<b>30.000</b>	<b>35.000</b>	<b>35.000</b>	<b>35.000</b>	<b>35.000</b>	-
Sidel		operação	30.000	-	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	-
Cimpor		operação	5.000	-	-	5.000	5.000	5.000	5.000	-
<b>Exportação</b>			<b>50.000</b>	-	<b>50.000</b>	<b>50.000</b>	<b>50.000</b>	<b>50.000</b>	<b>50.000</b>	-
<b>Outros (cerâmicas,...)</b>			<b>50.000</b>	-	<b>50.000</b>	<b>50.000</b>	<b>50.000</b>	<b>50.000</b>	<b>50.000</b>	-
<b>Novos projectos</b>			-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>			<b>4.476.376</b>	-	<b>971.658</b>	<b>2.184.994</b>	<b>3.435.597</b>	<b>4.075.442</b>	<b>4.075.442</b>	-

(Fonte: DNFF, 2012)